



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

IKARO CEZAR FREITAS DE SOUSA

**AVALIAÇÃO ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DE ÁGUAS
SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS DA SUB-BACIA DO BAIXO CURU -
CEARÁ**

FORTALEZA

2017

IKARO CEZAR FREITAS DE SOUSA

AVALIAÇÃO ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DE ÁGUAS
SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS DA SUB-BACIA DO BAIXO CURU - CEARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Alberto Ribeiro Mendonça

Co-orientadora: Dra. Maria da Conceição Rabelo Gomes

FORTALEZA
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S696a Sousa, Ikaro Cezar Freitas de.
Avaliação espacial de atributos físico-químicos de águas superficiais e subterrâneas da sub-bacia do Baixo Curu - Ceará / Ikaro Cezar Freitas de Sousa. – 2017.
115 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Luiz Alberto Ribeiro Mendonça.
Coorientação: Profa. Dra. Maria da Conceição Rabelo Gomes .
1. Qualidade das águas. 2. Perímetro irrigado Curu-Paraipaba. 3. Análise estatística multivariada. I.
Título.

CDD 630

IKARO CEZAR FREITAS DE SOUSA

AVALIAÇÃO ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DE ÁGUAS
SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS DA SUB-BACIA DO BAIXO CURU - CEARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof^o. Dr. Luiz Alberto Ribeiro Mendonça (Orientador)
Universidade Federal do Cariri (UFCA)

Dra. Maria da Conceição Rabelo Gomes (Co-orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dra. Ana Célia Meireles Oliveira
Universidade Federal do Cariri (UFCA)

Prof^o. Dr. Sávio de Brito Fontenele
Faculdade Paraíso do Ceará

A Deus.

Aos meus pais, Alberto e Sandra.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS que me deu sabedoria para concluir mais essa etapa de minha formação acadêmica, forças para seguir ao longo de todos esses anos de Universidade e oportunidades para enriquecer minha formação como profissional e como ser humano.

Ao meu pai Luís Alberto pelo carinho, pelo amor, pelo apoio incondicional, pelo incentivo a seguir sempre de acordo com meus princípios e pela contribuição para a realização desse trabalho.

À minha mãe Francisca Sandra pelo carinho, pelo amor e pelo grande esforço que sempre demonstrou para criar eu e meu irmão de forma honrada, nos dando educação e mostrando que o melhor caminho é aquele trilhado baseado no estudo.

À minha companheira e inspiração Maria Bruna por esses mais de 7 anos de amor, dedicação, incentivo, parceria, compreensão, força para enfrentar as dificuldades e incertezas e pelo orgulho que me proporciona sempre.

Ao meu irmão Kaio Cezar e toda a minha família pelo carinho, apoio e torcida que sei que sempre foram grandes e sinceros.

Ao professor Dr. Luiz Alberto pela excelente orientação, pela paciência e sabedoria compartilhada, que muito foram importantes tanto para a realização deste trabalho como para o meu futuro profissional e acadêmico.

À Dr^a. Conceição Rabelo pela excelente co-orientação e conselhos que foram imprescindíveis para a realização desse trabalho.

Ao professor Dr. Daniel Albiero pelos conselhos, pela atenção e pelo empenho em me ajudar, que foram muito importantes para a conclusão de mais essa etapa de minha vida.

À dona Maria e tia Raimundinha, que me acolheram como filho, pelo apoio, pela torcida e pelas orações.

À CAPES, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Aos professores do PPGEA por todo o aprendizado proporcionado, principalmente aos professores Dr. Alexandre e Dr. Zé Carlos.

Aos professores participantes da banca examinadora Dra. Ana Célia e Dr. Sávio pela disponibilidade de contribuir para a melhoria desse trabalho.

Ao meu Tio Rômulo do IBAMA e Edmundo na época secretário de meio ambiente de Paracuru pelos conselhos e ajuda na definição desse tema de pesquisa.

A todos que auxiliaram com a coleta das amostras nas comunidades por onde passei.

À Karen e Diolande do Laboratório do departamento de geologia pela atenção e pelos ensinamentos.

À professora Dr^a. Patrícia pela disponibilidade e paciência para passar seus conhecimentos de estatística que foram fundamentais para o entendimento desse trabalho.

A todos meus amigos e colegas de mestrado pelo apoio e compartilhamento de conhecimento e experiências.

“A água é tal qual a terra por onde ela atravessa.”

Teofrasto

SOUSA, Ikaro Cezar Freitas de, Universidade Federal do Ceará. Julho de 2017. **Avaliação espacial de atributos físico-químicos de águas superficiais e subterrâneas da sub-bacia do baixo Curu – Ceará.** Orientador: Prof. Dr. Luiz Alberto Ribeiro Mendonça. Co-orientadora: Dra. Maria da Conceição Rabelo Gomes. Conselheiros: Prof. Dra. Ana Célia Meireles e Prof. Dr. Sávio de Brito Fontenele.

RESUMO

O aumento da população e o modelo de desenvolvimento atual impõem a superexploração dos recursos naturais, comprometendo a qualidade dos recursos hídricos. Neste contexto, torna-se evidente a necessidade de mais pesquisas e trabalhos que envolvam a gestão quali-quantitativa dos recursos hídricos. Para avaliar a qualidade das águas é preciso a realização de análises físico-químicas, das quais se obtém diversas variáveis, com característica multivariada. O objetivo geral dessa pesquisa é entender a evolução espacial de atributos físico-químicos de águas superficiais e subterrâneas da área de estudo, dando ênfase a qualidade para o consumo humano e agrícola, tendo como ferramenta, técnicas de análise estatística multivariada. A área de estudo fica localizada na Sub-bacia do Baixo Curu, onde se localiza o Perímetro Irrigado Curu-Paraipaba. Foram analisadas vinte variáveis físico-químicas, em vinte amostras de águas coletadas no rio Curu (cinco) e em poços (quinze) distribuídos na área de estudo. Todas as amostras analisadas apresentaram ao menos uma restrição quanto aos padrões de potabilidade estabelecidos pela portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde. Para fins de irrigação as águas apresentaram boa qualidade, principalmente para utilização no cultivo do coco, que é dominante na área. A predominância de águas cloretadas sódicas está associada à influência de aerossóis marinhos na zona costeira. A partir da análise fatorial foi possível reduzir as vinte variáveis analisadas para treze variáveis representativas, distribuídas em dois fatores. O fator 1, constituído pelas variáveis CE, Dureza Total, pH, STD, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- e Alcalinidade, relacionado com o processo natural de intemperismo dos componentes geológicos do solo e com a presença de aerossóis marinhos nas águas de recarga do aquífero. O fator 2, constituído pelas variáveis Turbidez e o Fe^{3+} , relacionado ao processo de dissolução de rochas que contém ferro no aquífero Barreiras. A análise de agrupamento realizada separadamente para cada fator da análise fatorial apresentou similaridade das amostras em relação à distribuição espacial e à origem das águas (superficial ou subterrânea).

Palavras-chave: Qualidade das águas. Perímetro irrigado Curu-Paraipaba. Análise estatística multivariada.

SOUSA, Ikaro Cezar Freitas de, Université fédérale du Ceará. Juillet 2017. **Évaluation spatiale des attributs physico-chimiques des eaux de surface et des eaux souterraines dans le sous-bassin de la partie inférieure de la rivière Curu - Ceará.** Orienteur: Prof. Dr Luiz Alberto Ribeiro Mendonça. Co-orienteuse: Dr Maria da Conceição Rabelo Gomes. Conseillers: Prof. Dr Ana Célia Meireles et Prof. Dr Sávio de Brito Fontenele.

RESUMÉ

L'augmentation de la population et le modèle de développement actuel imposent la surexploitation des ressources naturelles, ce qui compromet la qualité des ressources en eau. Dans ce contexte, il devient évident que la nécessité de poursuivre la recherche et le travail impliquant la qualité et la quantité des ressources en eau est très grande. Effectuer des analyses physiques et chimiques pour évaluer la qualité de l'eau est nécessaire et plusieurs variables avec caractéristiques multivarées sont obtenus à partir de ces analyses. L'objectif général de cette recherche est de comprendre l'évolution spatiale des propriétés physiques et chimiques de l'eau de surface et des eaux souterraines dans la zone d'étude, mettant l'accent sur la qualité pour la consommation humaine et pour l'agriculture, en utilisant des techniques d'analyse multivarée. La zone d'étude est située dans le sous-bassin de la Basse Curu, où se trouve le périmètre Irrigué Curu-Paraipaba. Vingt des variables physico-chimiques ont été analysées en vingt échantillons d'eau prélevés dans le fleuve Curu (cinq échantillons) et des puits (quinze échantillons) répartis dans la zone d'étude. Tous les échantillons, on a au moins une restriction sur les normes de potabilité établies par l'ordonnance 2914/2011 du ministère de la Santé. Pour les besoins d'irrigation des eaux ont une bonne qualité, en particulier pour une utilisation dans la culture de la noix de coco, qui est dominante dans la région. La prédominance de l'eau chlorée sodique est associée à l'influence de pulvérisation de sel dans la zone côtière. l'analyse des facteurs a permis de réduire les vingt variables pour treize variables représentatives, réparties en deux facteurs. Facteur 1, comprenant les variables conductivité électrique, dureté totale, pH, STD, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- et alcalinité en rapport avec le processus naturel de désagrégation de composants géologiques du sol et la présence de aérosols marins dans l'eau de recharge de l'aquifère. Facteur 2, constitué des variables turbidité et Fe^{3+} , lié au processus de dissolution des roches contenant du fer dans l'aquifère Barreiras. L'analyse de cluster effectuée séparément pour chaque facteur de l'analyse factorielle a montré la similitude des échantillons par rapport à la distribution et l'origine spatiale des eaux (eau de surface ou souterraine).

Mots-clés: Qualité de l'eau. District d'irrigation Curu-Paraipaba. Analyse statistique multivariée.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 1 | – Perímetros irrigados nordestinos administrados pelo DNOCS e Codevasf..... | 25 |
| Figura 2 | – Localização da área de estudo..... | 33 |
| Figura 3 | – Bacias hidrográficas do Ceará..... | 35 |
| Figura 4 | – Localização do Perímetro Irrigado Curu-Paraipaba..... | 36 |
| Figura 5 | – Solos da área de estudo..... | 38 |
| Figura 6 | – Litologia na área de estudo..... | 39 |
| Figura 7 | – Perfis de poços amostrados na área de estudo..... | 41 |
| Figura 8 | – Domínios hidrogeológicos da área de estudo..... | 41 |
| Figura 9 | – Recipientes utilizados nas coletas de água subterrânea..... | 43 |
| Figura 10 | – Faixa do rio Curu delimitação da área de estudo e localização espacial dos poços cadastrados pela CPRM..... | 49 |
| Figura 11 | – Pontos de coleta de amostras de água do rio Curu e de poços na área de estudo..... | 50 |
| Figura 12 | – Localização dos pontos de amostragem em imagem de satélite da área de estudo..... | 50 |
| Figura 13 | – Classificação iônica de 20 amostras de águas segundo o Diagrama de Piper..... | 55 |
| Figura 14 | – rCl^- vs. rNa^+ para as águas das 20 amostras..... | 56 |
| Figura 15 | – rCl^- vs. rNa^+ para as águas das amostras excluindo as 2 amostras de água estuarina..... | 57 |
| Figura 16 | – Classificação USSL das águas para fins de irrigação..... | 59 |
| Figura 17 | – Distribuição espacial da classificação USSL das águas para fins de irrigação..... | 62 |
| Figura 18 | – Condutividade elétrica das águas analisadas | 63 |
| Figura 19 | – Condutividade elétrica das águas analisadas (Água doce)..... | 64 |
| Figura 20 | – Concentrações de dureza total nas águas analisadas..... | 65 |
| Figura 21 | – Concentrações de dureza total nas águas analisadas (Água doce) | 65 |
| Figura 22 | – Valores de pH nas águas analisadas..... | 66 |
| Figura 23 | – Concentrações de sólidos totais dissolvidos nas águas analisadas..... | 67 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| Figura 24 | – Concentrações de sólidos totais dissolvidos nas águas analisadas (Água doce)..... | 67 |
| Figura 25 | – Concentrações de turbidez nas águas analisadas..... | 68 |
| Figura 26 | – Concentrações de cálcio nas águas analisadas..... | 69 |
| Figura 27 | – Concentrações de cálcio nas águas analisadas (Água doce)..... | 70 |
| Figura 28 | – Concentrações de magnésio nas águas analisadas..... | 70 |
| Figura 29 | – Concentrações de magnésio nas águas analisadas (Água doce)... | 71 |
| Figura 30 | – Concentrações de potássio nas águas analisadas..... | 71 |
| Figura 31 | – Concentrações de potássio nas águas analisadas (Água doce)..... | 72 |
| Figura 32 | – Concentrações de sódio nas águas analisadas..... | 73 |
| Figura 33 | – Concentrações de sódio nas águas analisadas (Água doce)..... | 73 |
| Figura 34 | – Na ⁺ vs. C.E para as amostras de água doce..... | 74 |
| Figura 35 | – Concentrações de cloreto nas águas analisadas..... | 75 |
| Figura 36 | – Concentrações de cloreto nas águas analisadas (Água doce)..... | 75 |
| Figura 37 | – Cl ⁻ vs. C.E para as amostras de água doce..... | 76 |
| Figura 38 | – Concentrações de sulfato nas águas analisadas..... | 77 |
| Figura 39 | – Concentrações de bicarbonato nas águas analisadas..... | 78 |
| Figura 40 | – Concentrações de nitrato nas águas analisadas..... | 79 |
| Figura 41 | – Concentrações de nitrito nas águas analisadas..... | 80 |
| Figura 42 | – Concentrações de nitrogênio amoniacal nas águas analisadas..... | 81 |
| Figura 43 | – Concentrações de fosfato nas águas analisadas..... | 82 |
| Figura 44 | – Concentrações de ferro nas águas analisadas..... | 83 |
| Figura 45 | – Concentrações de alcalinidade nas águas analisadas..... | 84 |
| Figura 46 | – Concentrações de sílica nas águas analisadas..... | 85 |
| Figura 47 | – Concentrações de alumínio nas águas analisadas..... | 85 |
| Figura 48 | – Dendrograma gerado a partir das variáveis explicadas pelo fator 1 da análise fatorial..... | 97 |
| Figura 49 | – Distribuição espacial dos grupos gerados a partir dos atributos que formam o Fator 1 da análise fatorial..... | 99 |
| Figura 50 | – Dendrograma gerado a partir das variáveis explicadas pelo fator 2 da análise fatorial..... | 100 |
| Figura 51 | – Distribuição espacial dos grupos gerados a partir dos atributos que formam o Fator 2 da análise fatorial..... | 103 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Quantidade de perímetros irrigados implantados pelo DNOCS no Nordeste..... | 25 |
| Tabela 2 – Perímetros irrigados do Ceará implementados pelo DNOCS..... | 26 |
| Tabela 3 – Categoria de irrigantes associada a razão entre a área efetivamente irrigada e a quantidade de irrigantes..... | 27 |
| Tabela 4 – Sistemas de irrigação utilizados no perímetro irrigado..... | 27 |
| Tabela 5 – Procedimentos de amostragem..... | 44 |
| Tabela 6 – Métodos analíticos aplicados de acordo com APHA (2012)..... | 45 |
| Tabela 7 – Localização dos pontos amostrados (P: ponto de coleta no rio; PC: ponto de coleta nos poços)..... | 51 |
| Tabela 8 – Valores resultantes da análise físico-química de 5 amostras de água superficial (P1, P2, P3, P4 e P5) e de 15 amostras de água subterrânea (PC1 a PC15) da área de estudo..... | 53 |
| Tabela 9 – Estatística descritiva das concentrações e medidas dos atributos físico-químicos analisados para 20 amostras..... | 54 |
| Tabela 10 – Resultados do Balanço iônico das amostras analisadas..... | 54 |
| Tabela 11 – Resultados da classificação USSL das águas para fins de irrigação..... | 58 |
| Tabela 12 – Avaliação qualitativa do grau de correlação entre duas variáveis..... | 86 |
| Tabela 13 – Classificação do índice KMO..... | 87 |
| Tabela 14 – Matriz de correlação resultante da primeira simulação contendo 20 atributos físico-químicos analisados para 20 amostras de água superficial e subterrânea do Baixo Curu..... | 88 |
| Tabela 15 – Matriz de correlação resultante da primeira simulação contendo 20 atributos físico-químicos analisados para 18 amostras de água superficial e subterrânea do Baixo Curu..... | 89 |
| Tabela 16 – Informações de cada simulação da Análise de Componente Principal..... | 91 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 17 – Matriz de correlação dos atributos das águas superficial e subterrânea do Baixo Curu..... | 92 |
| Tabela 18 – Cargas fatoriais, comunalidades e variância explicada na análise fatorial dos 13 atributos, após a rotação pelo método varimax..... | 94 |
| Tabela 19 – Cronograma de aglomeração resultante da análise de agrupamento das variáveis explicadas pelo Fator 1..... | 97 |
| Tabela 20 – Cronograma de aglomeração resultante da análise de agrupamento das variáveis explicadas pelo Fator 2..... | 100 |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 | Objetivo..... | 15 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA..... | 17 |
| 2.1 | A Qualidade da água e sua importância..... | 17 |
| 2.1.1 | <i>Qualidade das águas superficiais.....</i> | 19 |
| 2.1.2 | <i>Qualidade das águas subterrâneas.....</i> | 19 |
| 2.2 | Contaminação das águas..... | 20 |
| 2.3 | Agricultura e a qualidade das águas..... | 21 |
| 2.4 | Perímetros irrigados..... | 23 |
| 2.5 | Perímetro irrigado Curu-Paraipaba..... | 26 |
| 2.6 | Utilização da estatística multivariada..... | 29 |
| 2.6.1 | <i>Análise Multivariada de dados.....</i> | 29 |
| 2.6.2 | <i>Análise de Componentes Principais – ACP.....</i> | 30 |
| 2.6.3 | <i>Análise de Agrupamento – AA.....</i> | 30 |
| 2.6.4 | <i>Utilização da Análise da Componente Principal associada à Análise de Agrupamento.....</i> | 31 |
| 3 | ÁREA DE ESTUDO..... | 33 |
| 3.1 | Localização da área de estudo..... | 33 |
| 3.2 | Bacia do Curu..... | 34 |
| 3.3 | Perímetro irrigado Curu-Paraipaba..... | 36 |
| 3.4 | Clima..... | 37 |
| 3.5 | Vegetação..... | 37 |
| 3.6 | Solo e relevo..... | 37 |
| 3.7 | Geologia..... | 39 |
| 3.8 | Hidrogeologia..... | 40 |
| 4 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 42 |
| 4.1 | Definição dos pontos de coleta..... | 42 |
| 4.2 | Coleta de amostras em campo..... | 43 |
| 4.3 | Análises laboratoriais..... | 45 |
| 4.4 | Balanco iônico..... | 46 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 4.5 | Classificação das águas para fins de irrigação | 46 |
| 4.6 | Análise estatística | 47 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 49 |
| 5.1 | Definição dos pontos de coleta | 49 |
| 5.2 | Análises laboratoriais | 51 |
| 5.3 | Balço iônico | 54 |
| 5.3.1 | <i>Classificação iônica das águas</i> | 55 |
| 5.4 | Classificação das águas para irrigação | 58 |
| 5.5 | Qualidade das águas para consumo humano | 63 |
| 5.5.1 | <i>Condutividade elétrica – C.E.</i> | 63 |
| 5.5.2 | <i>Dureza</i> | 64 |
| 5.5.3 | <i>pH</i> | 65 |
| 5.5.4 | <i>Sólidos totais dissolvidos – STD</i> | 66 |
| 5.5.5 | <i>Turbidez</i> | 68 |
| 5.5.6 | <i>Cálcio, Magnésio e Potássio</i> | 68 |
| 5.5.7 | <i>Sódio</i> | 72 |
| 5.5.8 | <i>Cloretos</i> | 74 |
| 5.5.9 | <i>Sulfatos</i> | 76 |
| 5.5.10 | <i>Bicarbonatos</i> | 77 |
| 5.5.11 | <i>Nitratos</i> | 78 |
| 5.5.12 | <i>Nitritos</i> | 79 |
| 5.5.13 | <i>Amônia</i> | 80 |
| 5.5.14 | <i>Fosfatos</i> | 81 |
| 5.5.15 | <i>Ferro</i> | 82 |
| 5.5.16 | <i>Alcalinidade</i> | 83 |
| 5.5.17 | <i>Sílica</i> | 84 |
| 5.5.18 | <i>Alumínio</i> | 85 |
| 5.6 | Análise Estatística Multivariada | 86 |
| 5.6.1 | <i>Análise de Componente Principal</i> | 86 |
| 5.6.2 | <i>Análise de Agrupamento</i> | 95 |
| 6 | CONCLUSÃO | 104 |
| | REFERÊNCIAS | 105 |

1 INTRODUÇÃO

O aumento da população e o modelo de desenvolvimento atual impõem a superexploração dos recursos naturais para a produção de alimentos e de matéria prima para as indústrias, o que compromete a qualidade do recurso mais importante na regulação da vida no planeta, que é a água.

Atualmente, de acordo com Gomes *et al.* (2017) a demanda hídrica está forçando uma superexploração, que pode ser observada, onde há ocorrência de aquíferos livres, com intermitência da rede de drenagem natural, antes perene e hoje perenizada por esgotos domésticos e industriais.

As várias e diferentes utilidades atribuídas às águas ocasionam problemas relacionados à escassez quali-quantitativa, devido a contaminação e a superexploração dos corpos hídricos (PALACIO, 2009).

A baixa qualidade das águas pode causar problemas à saúde humana, assim como, inviabilizar atividades importantes como a agropecuária e a indústria. Segundo Gomes (2013), a utilização da água para uma determinada atividade é determinada pela sua qualidade, que é influenciada por diversos fatores que podem ser naturais e/ou antrópicos.

Uma das principais causas da contaminação de mananciais em áreas agrícolas é a utilização inadequada de fertilizantes como forma de disponibilizar de imediato nutriente às plantações, trazendo resultados em curto prazo para a produção, mas reduzindo a qualidade das águas a longo prazo, trazendo prejuízos à atividade (ANDRADE *et al.*, 2007; NASCIMENTO *et al.*, 2008; PALACIO *et al.*, 2009; ANDRADE *et al.*, 2010; FRANCO *et al.*, 2010; ANDRADE *et al.*, 2016).

Nos últimos anos o Brasil tem enfrentado um período de seca, tornando evidente a necessidade de mais pesquisas e trabalhos que envolvam a gestão quali-quantitativa dos recursos hídricos.

Dessa forma, as pesquisas relacionadas aos recursos hídricos tornam-se fundamentais, pois a água é um bem limitado e de valor econômico estimado, sendo destinada para diversos fins, tais como a agropecuária, a indústria e o mais nobre de todos, o consumo humano (MEDEIROS *et al.*, 2011). Segundo a Agência Nacional de Águas - ANA (2005), a informação sobre a qualidade das águas no Brasil ainda é incipiente ou inexistente em várias bacias hidrográficas.

Para avaliar a qualidade das águas é preciso a realização de análises físico-químicas, que produzem resultados de diversas variáveis, apresentando característica multivariada, deixando clara a necessidade do tratamento multivariado dos dados.

A análise multivariada auxilia na definição de quais variáveis são mais relevantes para a gestão qualitativa das águas, auxiliando na seleção de variáveis a partir de critérios mais objetivos.

De um modo geral, Análise Multivariada é um conjunto de procedimentos estatísticos que permite avaliar simultaneamente diversas variáveis de uma amostra ou população (FIGUEIREDO FILHO *et al.* , 2016).

Esse tipo de análise estatística é frequentemente utilizada na avaliação qualitativa das águas de mananciais, como no estudo desenvolvido por Gomes *et al.* (2017), que estudou a qualidade das águas subterrâneas na região de CRAJUBAR, no Vale do Cariri cearense e por Palácio *et al.* (2009), que estudou a qualidade das águas superficiais da bacia do Curu, Ceará.

Para este trabalho foram realizadas análises físico-químicas de vinte atributos, em vinte amostras de água, sendo cinco de águas superficiais e quinze de águas subterrâneas, distribuídas em toda área de estudo. Na análise dos dados gerados foram utilizadas ferramentas de estatística multivariada.

Este estudo foi realizado na sub-bacia do baixo Curu, que, segundo Gorayeb *et al.* (2005), apesar de ser considerada de pequeno porte comparando com outras sub-bacias do Ceará, tem notável importância econômica devido à proximidade que tem de Fortaleza e o potencial agrícola, com utilização de irrigação, que tem atraído grandes investimentos em obras hídricas realizadas nos últimos setenta anos.

1.1 Objetivo

O objetivo geral dessa pesquisa é entender a evolução espacial de atributos físico-químicos de águas superficiais e subterrâneas da sub-bacia do baixo Curu, dando ênfase a qualidade para o consumo humano e agrícola, tendo como ferramenta técnicas de análise estatística multivariada.

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- Avaliar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas para consumo humano e agrícola;
- Analisar se há diferença significativa entre a qualidade das águas coletadas dentro e fora do perímetro irrigado Curu-Paraipaba;
- Conhecer os principais atributos que explicam a variabilidade da qualidade das águas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Qualidade da água e sua importância

A água é o líquido mais abundante do planeta e componente indispensável para a vida de todos os organismos vivos que habitam a Terra. É imprescindível para a manutenção do clima e dos ciclos biológicos, geológicos e químicos, que viabilizam o equilíbrio dos ecossistemas, e da sustentabilidade do ciclo de nutrientes (PARRON, 2011; SIQUEIRA *et al.*, 2012 *apud* PEIXOTO, 2014).

A hidrosfera compõe 73% da superfície da terra, mas a água também está presente na atmosfera e no ambiente terrestre. Os oceanos detêm 97% da massa total de água da Terra, portanto apenas 3% da totalidade são de água doce. Desses 3%, aproximadamente 79% encontram-se congeladas em camadas de gelo polar e geleiras sobre montanhas. Os 21% restantes encontram-se na forma líquida, das quais 20% são águas subterrâneas e apenas 1%, superficiais. Nesse contexto as águas subterrâneas são utilizadas principalmente na indústria, na irrigação e no abastecimento doméstico. (GEO BRASIL, 2007; VANLOON; DUFFY, 2000 *apud* PARRON, 2011).

Qualidade da água pode ser definida como o termo utilizado para expressar a adequabilidade da água para os mais variados fins como o abastecimento doméstico, o uso industrial, o uso agrícola, a recreação entre outros (ARAÚJO; SANTAELLA, 2001 *apud* GOMES, 2013).

Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos é um dos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei no 9.433/1997, que evidencia a importância da qualidade da água para a vida da sociedade (ANA, 2005).

Fatores como o regime hidrológico, desmatamento, agricultura, esgoto e gestão de resíduos sólidos afetam a qualidade das águas, que depende diretamente do ciclo hidrológico e das condições naturais, assim como, das antrópicas encontradas no percurso feito por ela.

Desde a precipitação até a evaporação da água, que possibilita a formação das nuvens, fechando assim o ciclo, a qualidade da água vai se modificando de acordo com o ambiente com qual entra em contato (CGEE, 2012).

Dependendo das características do ar atmosférico, a qualidade da água pode ser afetada em maior ou menor intensidade, do momento da precipitação até atingir o solo.

No solo, a presença de resíduos sólidos e líquidos, resultantes da ação antrópica, poderá afetar a qualidade das águas de infiltração e percolação, até chegar ao lençol freático, além das águas de escoamento superficial, que também arrastam consigo partículas do solo, que agregam íons e cátions. Nesses processos, o que é carreado e/ ou lixiviado, dependendo do uso e ocupação dos solos (agrícola, urbana ou industrial), poderá alterar qualitativa e/ ou quantitativamente a qualidade dessas águas de maneiras e intensidades diferentes.

Para o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos do Brasil - CGEE, a qualidade da água está relacionada, espacialmente, com o tipo de solo e com o seu uso e ocupação dentro da bacia hidrográfica, enquanto que, temporalmente, está relacionada ao regime hidrológico decorrente da distribuição das chuvas.

A discussão da questão da água está em evidência no mundo inteiro, devido às perspectivas de escassez e degradação da qualidade dos recursos hídricos do planeta, sendo necessária a adoção do planejamento e do manejo integrado desse recurso, que está se tornando não renovável (OLIVEIRA, 2013).

O consumo de água de baixa qualidade e sem tratamento adequado pode ocasionar graves problemas de saúde pública, principalmente com o surgimento e proliferação de doenças de veiculação hídrica.

Além da contaminação impossibilitando o consumo humano, a poluição hídrica produzida pela ação antrópica causa a degradação da qualidade ambiental, pois favorece a alteração das qualidades físicas, químicas e biológicas da água, o que prejudica não somente a saúde humana e o bem-estar da população, mas cria condições adversas às atividades sociais e econômicas, afetando a biota desfavoravelmente, assim como as condições estéticas e sanitárias (CGEE, 2012).

Segundo PORTO (2002) a gestão da quantidade de água no país tem sido levada mais em conta do que a gestão da qualidade da água, apesar da sua importância, tanto no aspecto legal como nos arranjos institucionais em funcionamento no setor, no planejamento e na operacionalização dos sistemas de gestão.

2.1.1 Qualidade das águas superficiais

As fontes de poluição de águas superficiais podem ser de forma concentrada ou difusa. Fontes concentradas são, principalmente, provenientes de esgotos oriundos de efluentes domésticos, indústrias e de termoelétricas; já as fontes difusas são oriundas do escoamento superficial em ambientes urbanos e agrícolas (GOMES, 2013).

Segundo a Agência Nacional de Águas, as principais fontes que alteram a qualidade das águas no Brasil são os efluentes domésticos, que representam a principal pressão sobre os corpos d'água superficiais do país. No Brasil apenas 47% dos municípios têm rede coletora de esgoto e somente 18% destes esgotos recebem algum tratamento. Além dos esgotos domésticos, também são fontes de poluição: os efluentes industriais; o escoamento superficial em áreas agrícolas e urbanas; o transporte de sedimentos em áreas de desmatamento e de manejo inadequado do solo; o transporte de sedimentos e o lixiviado de áreas de mineração, de depósitos de resíduos sólidos e de acidentes ambientais; os efluentes da suinocultura; a intrusão salina em áreas costeiras; os dejetos provenientes da aquicultura; dentre outros. Esse cenário mostra a grande variedade de problemas relacionados à qualidade das águas superficiais no país (ANA, 2007).

Neste contexto, os principais parâmetros que definem a qualidade das águas superficiais dependem do clima, vegetação circundante, litótipos da região, do ecossistema aquático e da ação antrópica (GOMES, 2013).

Segundo PEIXOTO (2014) a degradação dos corpos hídricos é mais evidente nas águas superficiais do que nas subterrâneas, pois superficialmente a qualidade das águas pode ser alterada rapidamente pelo lançamento direto de poluentes e pela má gestão desse recurso.

2.1.2 Qualidade das águas subterrâneas

As águas subterrâneas são muito exploradas nacionalmente e são utilizadas para diversos fins, como o abastecimento humano, a irrigação, indústria e o lazer. Na maioria das vezes essa fonte hídrica é utilizada como forma complementar ao uso das águas superficiais, porém em muitas regiões sedimentares brasileiras as águas subterrâneas representam o principal manancial hídrico, tornando-se muito importante no desenvolvimento socioeconômico. É o que acontece com o abastecimento de

comunidades rurais do semiárido nordestino e de várias áreas urbanas e rurais do Brasil (ANA, 2007).

Segundo LEAL (1999), a crescente oferta de energia elétrica e a poluição das fontes hídricas de superfície foram fatores importantes para o aumento do uso das águas subterrâneas, além das condições climáticas e geológicas do Brasil, que permitiram a formação de sistemas aquíferos importantes, com potencial para suprir água em quantidade e qualidade necessárias, destinadas às várias atividades.

Pelo fato de serem protegidas pela zona de aeração (importante nas reações biogeoquímicas de autodepuração), as águas subterrâneas são menos susceptíveis à contaminação do que as superficiais, porém uma vez poluídas são mais difíceis de serem recuperadas, podendo, dependendo da persistência da recarga e do tipo de contaminante, tornar-se economicamente inviável (GOMES, 2013; PEIXOTO 2014).

A composição química do ambiente geológico e das águas que chegam aos aquíferos, os fatores físicos e biológicos do subsolo e das águas, associados à influência humana, expressa geralmente através de poluição ambiental, influenciam intensamente os processos biogeoquímicos, que estão submetidas as águas naturais em contato com o ambiente geológico (FENZL, 1988 *apud* GOMES, 2013).

A qualidade da água subterrânea tem papel fundamental na gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Muitos estudos feitos abordam a caracterização físico-química e microbiológica de águas subterrâneas, porém a gestão desse recurso também precisa incorporar mais conhecimento sobre a vulnerabilidade à poluição e a proteção dos aquíferos, associadas ao planejamento do uso e ocupação territorial (ANA, 2007).

2.2 Contaminação das águas

As atividades antropogênicas podem modificar a qualidade das águas, tornando-as inapropriadas para consumo humano, recreação, indústria e agricultura (MENDIGUCHÍA *et al.*, 2004; VIDAL *et al.*, 2000 *apud* PEIXOTO 2014).

Segundo GOMES (2013) os fatores mais comuns responsáveis pela modificação das características naturais das águas, atualmente, estão relacionados a poços mal construídos, a proximidade de cemitérios, a má gestão dos resíduos gerados pela população, a tancagem de combustíveis, às águas superficiais poluídas, à ausência de saneamento básico e à agricultura.

A contaminação das águas, que pode ser química ou biológica, acontece quando substâncias nocivas à saúde humana são introduzidas às fontes hídricas em concentrações que excedem os limites considerados seguros para a vida (CGEE, 2012).

Uma forma de contaminação química se dá por metais pesados, que passam a ter suas concentrações aumentadas nas águas superficiais e subterrâneas, através de processos naturais, como o intemperismo e a lixiviação do solo; e através de processos antrópicos, como a mineração e o beneficiamento de metais, o descarte de rejeitos industriais, o lançamento de efluentes domésticos, a queima de combustíveis fósseis, o descarte de lodo de esgotos e o lixiviado de insumos agrícolas (MUNIZ e OLIVEIRA-FILHO, 2006). Outra forma de contaminação química se dá pela utilização de pesticidas que são mais intensamente empregados na agricultura irrigada, com a finalidade de combater pragas, doenças e plantas invasoras.

No solo, os pesticidas podem ser degradados através de reações químicas, mas as moléculas de baixa taxa de degradação podem continuar no ambiente sem sofrer alteração. Essas são moléculas que podem chegar aos reservatórios subterrâneos através da lixiviação ou serem carregadas para as águas superficiais.

Essa contaminação pode atingir áreas muito distantes da região de aplicação, já que os pesticidas podem ser volatilizados e as moléculas na forma de gás ou de vapor podem ser transportadas por muitos quilômetros (SANCHES, 2003).

2.3 Agricultura e a qualidade das águas

Para Gadelha (2002) o desenvolvimento da agricultura tem contribuído para a poluição do solo e das águas. Usados em quantidades inadequadas, ou indiscriminadamente nas lavouras, os fertilizantes sintéticos e agrotóxicos (inseticidas, fungicidas e herbicidas) poluem o solo e os recursos hídricos. Neste contexto, além dos problemas causados ao ecossistema, através da intoxicação do meio levando à morte de seres vivos, eles também podem causar problemas à saúde humana, por possuírem alta toxicidade e efeitos cumulativos, além de serem de difícil decomposição química.

A utilização indiscriminada desses produtos tem como consequência o aparecimento de resíduos na água, no solo, no ar e nos alimentos, assim como o surgimento de vários casos de intoxicação em trabalhadores rurais pelo contato direto com o ambiente de trabalho (GASPAR, 2005).

Quando estão presentes no ambiente e principalmente quando atingem o ambiente aquático, alguns tipos de agrotóxicos oferecem riscos para espécies animais por causa de sua toxicidade e da possibilidade de sua bioacumulação que passa por toda a cadeia alimentar. Nesse caso é necessário considerar cada caso de contaminação de maneira particular, pois os agrotóxicos são substâncias pertencentes a variadas famílias de estruturas químicas dificultando a generalização dos efeitos (MILHOME, 2009).

A atenção precisa ser maior quando o assunto é agricultura irrigada, pois nesse caso há a exigência da otimização da produção desde o plantio até a colheita, utilizando intensamente a mecanização, a adubação e a aplicação de agrotóxicos o que pode impactar os corpos hídricos por meio do assoreamento dos cursos d'água, da contaminação química, do aumento da carga de nutrientes devido à aplicação de fertilizantes e do uso exagerado da disponibilidade hídrica (CGEE, 2012).

Para Manoel Filho (2008) a agricultura pode contaminar a água subterrânea através de solutos dissolvidos por chuva ou irrigação, tais como fertilizantes minerais ou naturais, sais, herbicidas e pesticidas.

Segundo Gomes (2013) em áreas de cultivo intenso o uso de fertilizantes e pesticidas nas lavouras é responsável pela degradação da qualidade da água subterrânea, que nesse tipo de área tem como principal contaminante o nitrogênio (N), bastante utilizado como nutriente. O nitrogênio na forma de nitrato pode ser considerado conservativo e possui uma boa mobilidade na água subterrânea, podendo atingir extensas áreas.

Práticas como o desmatamento e as queimadas, muito comuns em regiões agrícolas do semiárido, também favorecem a alteração da qualidade dos recursos hídricos, através de processos erosivos devido a exposição dos solos, levando ao aumento de sedimentos produzidos nos corpos hídricos, aumentando a turbidez e os sólidos em suspensão e dissolvidos na água, prejudicando a sua qualidade durante o período chuvoso (CGEE, 2012).

É prática muito comum, em todas as regiões do Brasil, o uso de agroquímicos para combater pragas, doenças e ervas daninhas. Como essa prática vem se acentuando a cada ano, além do controle, também é de fundamental importância a realização de estudos com foco no monitoramento de possíveis contaminações do meio ambiente, com ênfase nos recursos hídricos (GASPAR *et al.*, 2005).

O uso de fertilizantes e agrotóxicos na agricultura também tem aumentado muito devido a busca por maior produtividade no setor. Neste contexto, segundo a

Agência Nacional de Vigilância Sanitária - Anvisa, o Brasil é considerado um dos maiores consumidores de agrotóxico do mundo (RODRIGUES, 2006).

Milhome (2009), avaliando o potencial de contaminação das águas em áreas agrícolas do Baixo Jaguaribe identificou alguns pesticidas considerados como de alto potencial de contaminação para águas subterrâneas, tais como: atrazina, imidacloprido, metolacolor, nicosulfuram, tiametoxan, azoxistrobina, 2,4 D metamidofós, propiconazole e triazofós. Para águas superficiais, foram encontrados os compostos: clorpirifós, difenoconazol, paraquat e propiconazole. Estes compostos podem ser transportados dissolvidos em água, ou até mesmo adsorvidos ou sorvidos em sedimentos.

Gadelha *et al.* (2002) identificou a utilização de uma grande variedade de agrotóxicos das quatro classes toxicológicas (pouco tóxica, medianamente tóxica, altamente tóxica e extremamente tóxica) em diversas áreas da bacia do rio Gramame, localizado na Paraíba. Estes resultados contribuíram com a indicação da necessidade do controle do uso de agrotóxicos na bacia, bem como com sugestões de ações indispensáveis para o gerenciamento ambiental e dos recursos hídricos.

Estudos realizados por GASPAR *et al.* (2005) no Rio Mearim, localizado no Maranhão, também identificaram águas de qualidade sumariamente comprometida pelo uso intensivo de pesticidas, inclusive com identificação da presença de resíduos de produtos proibidos em algumas amostras de água.

Os impactos da agricultura irrigada sobre a qualidade dos recursos hídricos também podem ser observados nas seguintes regiões: submédio São Francisco, localizada nos estados da Bahia e Pernambuco; baixo Piranhas-Açu, no Rio Grande do Norte; Chapada do Apodi, baixo Jaguaribe e baixo Curu, no Ceará. Nestas regiões, os perímetros públicos, implantados pela CODEVASF e pelo DNOCS, a partir do início dos anos 1970, propiciaram o desenvolvimento da irrigação, mais tarde incrementada pela iniciativa privada (CGEE, 2012).

2.4 Perímetros irrigados

A Política Nacional de Irrigação foi uma das políticas de planejamento regional iniciadas pelo Estado no período da Ditadura Militar no Brasil com objetivo principal de construir perímetros irrigados públicos federais (CAVALCANTE, 2015).

Segundo Martins (2008) no período compreendido entre os anos 1960 e 1980 o governo brasileiro, fortemente pressionado pelo Banco Mundial, programou projetos de irrigação pública, com o intuito de tornar a agricultura do Brasil mais competitiva e, principalmente no semiárido, menos dependente das adversidades climáticas, além de desenvolver, segundo Coelho Neto (2010), a agricultura irrigada de alta produtividade e rentabilidade nessa região.

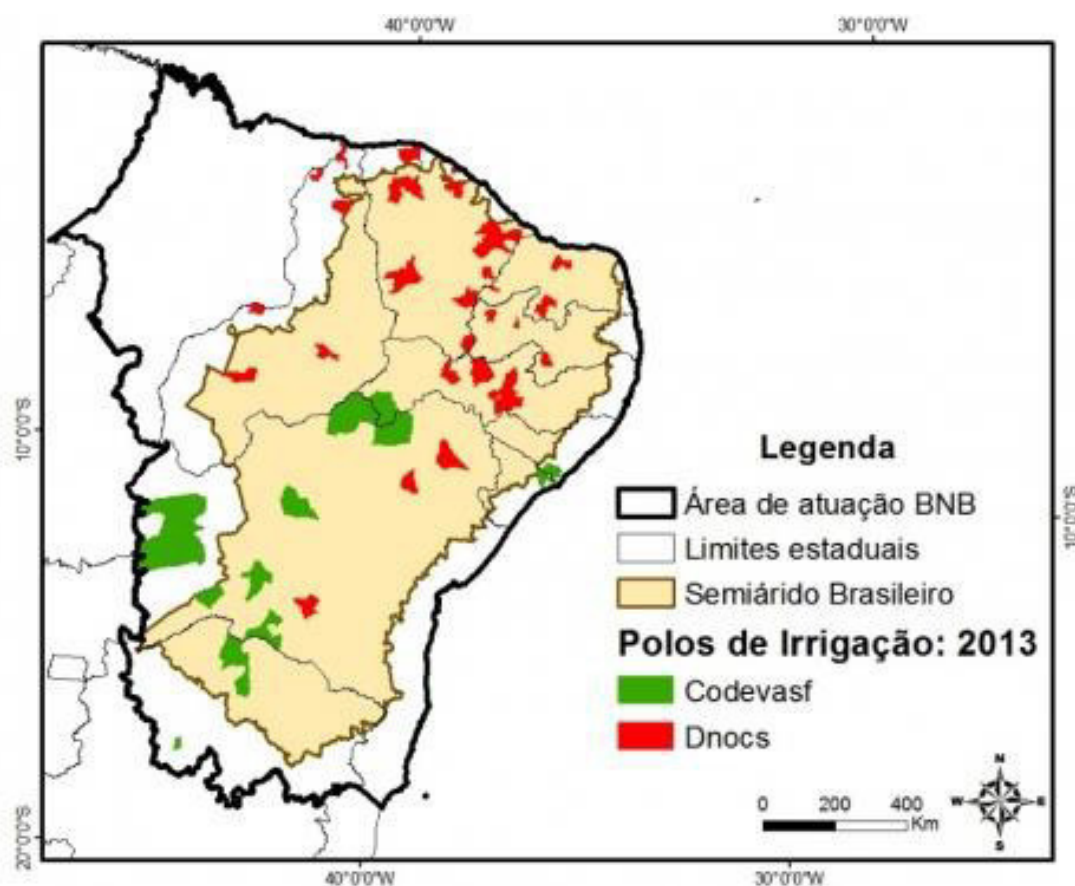
Para o Estado sempre foi um desafio promover o desenvolvimento, principalmente da agricultura, no semiárido brasileiro o levando a apostar na agricultura irrigada em 1970, quando criou o Programa de Irrigação do Nordeste - PIN, que viabilizou a expansão da área irrigada.

Vasconcelos e Lima (2015) afirmam que coube ao Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS, enquanto órgão federal, a responsabilidade pela execução, operação e manutenção dos perímetros irrigados no semiárido brasileiro, formados por estruturas de canais abastecidos por águas represadas, alimentados por rios de significativas extensões.

Conforme destaca Lima (2005), o DNOCS exercia uma atuação autoritária e paternalista que tinha, nas cooperativas, um instrumento através do qual exercia o seu poder e controlava o perímetro, pois determinava a cultura que seria cultivada, a quantidade, a área utilizada para o cultivo, a quantidade de insumos usados e a comercialização, mantendo o controle da produção nos perímetros. Em contra partida o órgão subsidiava a produção, garantia assistência técnica e supria todas as necessidades do irrigante e de sua família, garantindo também saúde e educação.

Cavalcante (2015) destaca que até o ano de 2013, foram construídos 37 perímetros irrigados pelo DNOCS (FIGURA 1), sendo que 14 destes encontram-se no Ceará (TABELA 1).

Figura 1 – Perímetros irrigados nordestinos administrados pelo DNOCS e Codevasf



Fonte: Buainain e Garcia (2015)

Tabela 1 – Quantidade de perímetros irrigados implantados pelo DNOCS no Nordeste

| Estado | Quantidade |
|---------------------|------------|
| Ceará | 14 |
| Bahia | 3 |
| Paraíba | 3 |
| Pernambuco | 4 |
| Piauí | 6 |
| Rio Grande do Norte | 5 |

Fonte: Adaptado pelo autor de DNOCS (2017).

Tabela 2 – Perímetros irrigados do Ceará implementados pelo DNOCS

| Perímetro Irrigado | Município | Fonte hídrica |
|---------------------------|---|--|
| Araras Norte | Varjota e Reriutaba | Açude Público Federal Paulo Sarasate |
| Ayres de Souza | Sobral | Açude Público Federal Ayres de Souza |
| Baixo Acaraú | Acaraú, Bela Cruz e Marco | Rio Acaraú |
| Curu-Paraipaba | Paraipaba | Rio Curu |
| Curu-Pentecoste | Pentecoste e São Luiz do Curu | Açude Público General Sampaio e Açude Público Pereira de Miranda |
| Ema | Iracema | Açude Público Federal Ema |
| Forquilha | Forquilha | Açude Público Federal Forquilha |
| Icó-Lima Campos | Icó | Açude Público Federal Lima Campos |
| Jaguaribe-Apodi | Limoeiro do Norte | Rio Jaguaribe |
| Jaguaruana | Jaguaruana | Rio Jaguaribe |
| Morada Nova | Morada Nova e Limoeiro do Norte | Açudes Públicos Federais Arrojado Lisboa e Vinícius Berredo |
| Quixabinha | Mauriti | Açude Público Federal Quixabinha |
| Tabuleiros de Russas | Russas, Limoeiro do Norte e Morada Nova | Rio Banabuiú |
| Várzea do Boi | Tauá | Açude Público Várzea do Boi |

Fonte: Adaptado pelo autor de DNOCS (2017).

A Tabela 2 identifica os 14 perímetros irrigados implementados no estado do Ceará, indicando os municípios onde estão instalados e as fontes hídricas utilizadas para a manutenção de cada projeto.

2.5 Perímetro irrigado Curu-Paraipaba

Segundo Cavalcante (2015), a ideia inicial da construção do Perímetro Irrigado Curu-Paraipaba (localizado à margem esquerda do rio Curu, no município de Paraipaba, à aproximadamente 90 km de Fortaleza) surgiu a partir da finalização do Plano Diretor de Desenvolvimento Agrícola do Vale do Curu, em 1969. Este plano foi realizado a pedido do Banco Mundial e do governo militar e atestava o potencial

agrícola da região e as boas condições para implementação do perímetro irrigado (MARTINS, 2008).

A implantação do perímetro irrigado iniciou-se no ano de 1974 e foi finalizada em 1975, com a estruturação dos serviços de administração, operação e manutenção da infraestrutura de uso comum (ADECE, 2011).

Atualmente o perímetro irrigado é administrado pela Associação do Distrito de Irrigação Curu-Paraipaba (ADICP) e tem como fonte hídrica o rio Curu que é perenizado pelos açudes públicos General Sampaio, Pereira de Miranda, Frios e Caxitoré (VASCONCELOS e LIMA 2015).

Tabela 3 – Categoria de irrigantes associada a razão entre a área efetivamente irrigada e a quantidade de irrigantes

| CATEGORIA DE IRRIGANTES | ÁREA IRRIGADA POR IRRIGANTE (ha/irrigante) | QUANTIDADE DE IRRIGANTES | ÁREA IRRIGADA (ha) |
|--------------------------------|---|---------------------------------|---------------------------|
| Pequeno Produtor | 3,6 | 679 | 2.453,00 |
| Técnico Agrícola | 3,6 | 2 | 7,20 |
| Engº Agrônomo | 3,6 | 6 | 21,50 |
| Empresa | 7,5 | 109 | 817,30 |
| TOTAL | - | 796 | 3.299,00 |

Fonte: Adaptado pelo autor de DNOCS (2017).

Ainda segundo ADECE (2011) a área desapropriada para implantação do perímetro irrigado foi de 12.347 ha, sendo 4.347 ha destinados à área de sequeiro e 8.000 ha, a áreas irrigadas ou com irrigação ainda a ser implantada. A Tabela 3 mostra a categoria de irrigantes associada a razão entre a área efetivamente irrigada e a quantidade de irrigantes. A Tabela 4 mostra os tipos de sistemas de irrigação utilizados no perímetro irrigado.

Tabela 4 – Sistemas de irrigação utilizados no perímetro irrigado

| SISTEMA DE IRRIGAÇÃO | ÁREA(%) |
|-----------------------------|----------------|
| Aspersão convencional | 84,8 |
| Micro-aspersão | 9,5 |
| Gotejamento | 3,4 |
| Pivô central | 2,3 |

Fonte: Adaptado pelo autor de DNOCS (2017).

Cada colono (termo utilizado para os assentados nos perímetros do DNOCS) recebeu em média um lote com 3 ha, correspondente a unidade agrícola e

outro de 0,72 ha, correspondente a unidade habitacional, composta por uma casa, um quintal com armazém, viveiro de animais, hortas e pomares (VASCONCELOS e LIMA 2015; CAVALCANTE, 2015).

O perímetro foi estruturado com 643 lotes, divididos entre a primeira etapa com cinco setores (B, C1, C2, D1 e D2) e a segunda etapa, entregue na década de 1990, com três setores (E, G e H) (VASCONCELOS e LIMA 2015). Além dos setores de produção foi implementada uma área, chamada de Centro Gerencial do DNOCS, onde está localizada as sedes do DNOCS e da ADICP, os serviços de uso comum, como estradas, escolas e posto de saúde, além de uma agroindústria e a área de preservação ambiental (CAVALCANTE, 2015).

Historicamente o perímetro teve três períodos produtivos diferentes, desde sua inauguração até os dias atuais (CAVALCANTE, 2015):

- de 1975 até 1977, com uma produção diversificada de feijão, milho, mandioca, tomate, pimentão, cenoura, cebola, laranja, abacate e maracujá, além de uma pequena criação de bois e galinhas, desenvolvida tanto nos lotes quanto nos quintais;
- de 1977 até 1990, com o cultivo dominante de cana-de-açúcar, destinada exclusivamente para a produção de álcool;
- de 1990 até a atualidade, com o cultivo do coco.

Segundo colonos entrevistados por Cavalcante (2015), o cultivo de coco foi a salvação do perímetro e da cidade de Paraipaba, pois os coqueirais apresentavam um rendimento maior do que o obtido com a cana de açúcar, já que podia garantir renda mensalmente, além de possibilitar o cultivo consorciado com outras culturas, inclusive com a cana-de-açúcar.

Neste contexto, atualmente o Perímetro Irrigado Curu-Paraipaba possui uma produção diversificada, tendo como principal atividade o cultivo especializado de coco verde, consorciado com acerola, caju, cana-de-açúcar, capim, feijão, graviola, mandioca, mamão e milho, além de outros cultivos de menor quantidade, como o abacate, a abóbora, a banana, a batata-doce, a laranja, o limão, a goiaba, a manga, o maxixe, a melancia, a pimenta e o sapoti.

2.6 Utilização da estatística multivariada

2.6.1 Análise Multivariada de dados

Para Fávero *et al.* (2009) a análise multivariada de dados é uma extensão natural das análises univariadas (que estudam os componentes e as distribuições de uma variável isolada) e bivariadas (que estudam as inter-relações e elabora as análises de variância relativas a duas variáveis simultaneamente). Neste contexto, a análise multivariada tem se tornado importante ferramenta para auxiliar a tomada de decisões em várias áreas de conhecimento, como a economia, engenharia, sociologia, arqueologia, administração, marketing, operações, finanças, contabilidade, dentre outras.

A análise multivariada de dados contribui para a identificação de qual ou quais variáveis devem ser utilizados como indicadores básicos em um caso de estudo, pois com ela é possível compreender a função desempenhada por cada variável analisada (ARAÚJO *et al.* 2013).

Este tipo de análise vem sendo bastante utilizada para caracterizar e avaliar as águas superficiais e a qualidade das águas doces, possibilitando determinar as variações espaciais e temporais causadas por fatores naturais e antropogênicos vinculados à sazonalidade (VEGA *et al.*, 1998 *apud* PALACIO 2009).

Palácio *et al.* (2009) em estudo na bacia do Curu aplicou a técnica de estatística multivariada com o objetivo de identificar a similaridade de variáveis determinantes da qualidade das águas no trecho perenizado dos cursos hídricos, durante os períodos seco e chuvoso. A utilização dessa técnica estatística permitiu os autores afirmarem que a sazonalidade teve um maior peso na definição da similaridade da qualidade das águas do que a variação espacial, levando à conclusão que apesar a ação antrópica ter influenciado a qualidade das águas do trecho perenizado do rio Curu, foi a concentração e diluição dos íons decorrentes da sazonalidade climática que foram determinantes para a formação dos grupos.

Andrade *et al.* (2009) também utilizou esta técnica no intuito de identificar os fatores e as variáveis de maior significância, bem como a variabilidade temporal na qualidade das águas do açude Ayres de Souza, no Ceará. Nesse estudo os resultados da estatística multivariada utilizada mostraram que a qualidade da água do açude é mais influenciada pela sazonalidade climática do que pela variabilidade espacial, que se observou pela identificação de dois grupos diferentes, um formado pelo período seco e

outro formado pelo período chuvoso. A técnica estatística ainda indicou que existe uma maior influência dos efeitos antrópicos (poluição ambiental) nas águas do corpo hídrico que dos processos naturais de mineralização advindos dos solos.

2.6.2 *Análise de Componentes Principais - ACP*

Segundo Lopes (2008) e Ferreira *et al.* (1999), a análise das componentes principais (ACP) é uma técnica de redução da dimensionalidade de uma matriz de variáveis inter-relacionadas, transformando-as em um conjunto de número reduzido de componentes, com a menor perda significativa de informação, facilitando o manuseio e a compreensão do fenômeno. Assim, a ACP possibilita investigações a partir de um grande número de dados a serem analisados, identificando os dados responsáveis pelas maiores variações entre os resultados (PEIXOTO, 2014).

No Estado do Ceará, Andrade *et al.* (2010) utilizaram a ACP para identificar os fatores que influenciavam na qualidade das águas subterrâneas do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú. Concluíram que os fatores determinantes da qualidade das águas subterrâneas da área de estudo foram a geologia e a poluição devido às ações antrópicas, como a utilização de fertilizantes nitrogenados nas áreas de cultivo irrigado e a ausências de saneamento adequado nas áreas não cultivadas.

A ACP também foi utilizada por Oliveira (2013) no estudo espacial e sazonal da qualidade das águas do açude Santo Anastácio, no Ceará. Através da análise fatorial foi possível detectar que alguns parâmetros apresentaram elevada sazonalidade como velocidade do ar, insolação, DBO, DQO, sólidos totais e cloretos. Esses parâmetros apresentaram os maiores valores no período seco, tornando-se determinantes na sazonalidade do reservatório estudado.

2.6.3 *Análise de Agrupamento – AA*

Segundo Peixoto (2014) e Bufon e Landim (2007), a análise de agrupamento (AA) é uma técnica da análise multivariada que propõe uma estrutura classificatória, ou de reconhecimento de grupos discretos formados a partir de uma matriz de dados sob estudo. Assim, a AA possibilita investigações a partir de um grande número de dados, separando-os em grupos similares, considerando um conjunto de características (VICINI, 2005). Nesse caso os dados que possuem maior semelhança são

reunidos no mesmo grupo, distanciando-os dos menos semelhantes, que são unidos em outros grupos.

Segundo Palacio (2009) essa técnica tem sido de muita importância na identificação de fontes poluidoras de recursos naturais.

Bufon e Landim (2007) utilizaram a AA no estudo da qualidade das águas da represa Velha, no estado de São Paulo, e chegaram à conclusão que a análise de agrupamento demonstrou sua utilidade no entendimento do processo de sedimentação ocorrido na represa, tornando evidente que os parâmetros fosfato e fosforo total se relacionam diretamente com o material de suspensão no período seco, porém não apresenta o mesmo resultado no período chuvoso.

Peixoto (2014) fez uso da AA no estudo da qualidade das águas do açude Santo Anastácio, no estado do Ceará. A análise resultou em uma separação de grupos no decorrer do período, indicando que houve uma alteração da qualidade da água no decorrer dos anos.

Aquino (2007) utilizou na identificação de grupos de qualidade de águas subterrâneas no Distrito de Irrigação do Baixo Acaraú, no Ceará, objetivando diagnosticar a influência do manejo de irrigação e da sazonalidade climática sobre a dinâmica de sais, e concluiu que ocorreu uma variabilidade espacial entre as amostras para os parâmetros analisados, porém não se observou variabilidade temporal.

2.6.4 Utilização da Análise da Componente Principal associada à Análise de Agrupamento

A utilização da Análise da Componente Principal associada à Análise de Agrupamento vem se mostrando importante em pesquisas que tratam de recursos naturais.

Araújo *et al.* (2013) concluíram em estudo realizado na chapada do Araripe, que a utilização associada da ACP e da AA foi importante para o entendimento das modificações nas propriedades dos solos de uma área de manejo florestal.

Gomes e Cavalcante (2017) utilizaram a técnica da análise da componente principal associada à análise de agrupamento para identificar a similaridade das variáveis determinantes da qualidade das águas subterrâneas no município de Fortaleza, e concluíram nesse estudo que a ACP permitiu a classificação das variáveis de maior significância na qualidade das águas estudadas, destacando as que se mostraram relacionadas com a salinidade devido às características geológicas da área. Nesse caso

de estudo a AA permitiu a classificação em três grupos de qualidade das águas diferentes.

Gomes *et al.* (2017) em estudo na região de CRAJUBAR, no Vale do Cariri cearense, que objetivou identificar a similaridade das variáveis determinantes da qualidade das águas subterrâneas da região, concluíram que a utilização associada dessas técnicas contribuiu com o entendimento dos processos que interferem na qualidade das águas subterrâneas de CRAJUBAR nos períodos chuvoso e seco através da identificação dos possíveis processos hidrogeoquímicos atuantes.

Essa associação de técnicas de análise multivariada se mostra importante para pesquisas de cunho ambiental, pois possibilita melhor entendimento dos processos envolvidos em cada caso de estudo, permitindo a identificação de indicadores básicos, a redução do número de análises e otimização do monitoramento contínuo. (ARAÚJO *et al.* 2013).

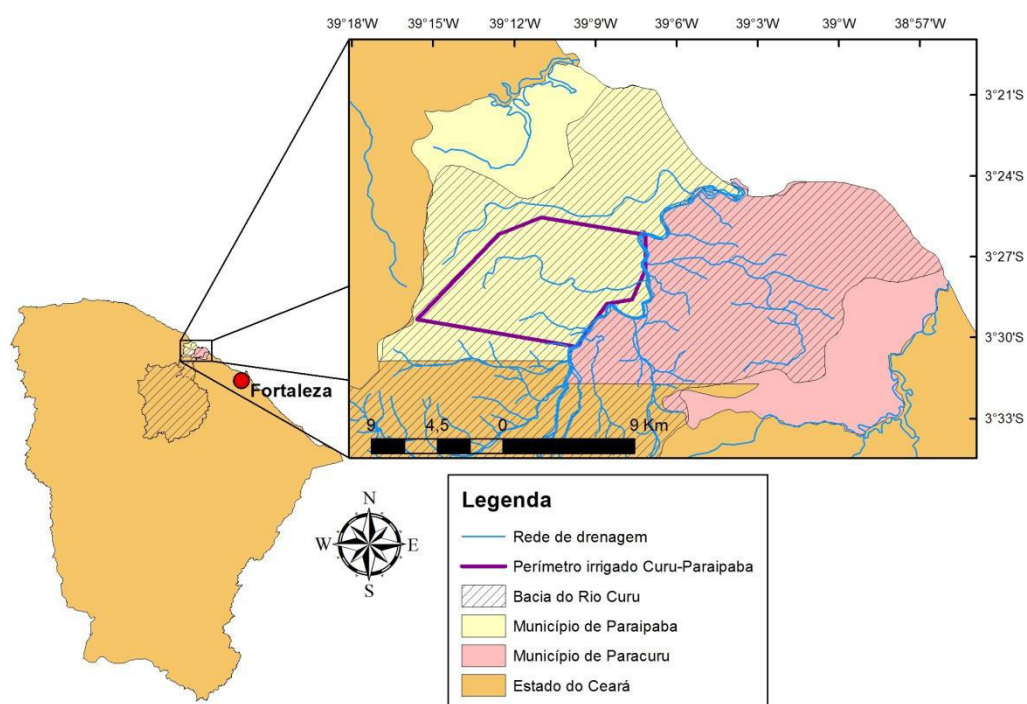
Os resultados dos estudos citados mostraram que o uso da análise fatorial, associada à análise de agrupamento multivariada, é importante no monitoramento e suporte à gestão da qualidade das águas subterrâneas (GOMES e CAVALCANTE, 2017; GOMES *et al.*, 2017).

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização da área de estudo

A área de estudo fica localizada no norte do estado do Ceará entre as coordenadas geográficas $39^{\circ}17'30''$ a $38^{\circ}55'30''$ W e $3^{\circ}19'30''$ a $3^{\circ}34'$ S, e compreende as porções dos municípios de Paracuru e Paraipaba que estão inseridas na Bacia hidrográfica do rio Curu (FIGURA 2).

Figura 2 – Localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor

O município de Paracuru que tem segundo o IBGE (2017) uma população estimada de 33665 pessoas e área territorial de 300.286 km², limita-se com os municípios de Paraipaba, São Gonçalo do Amarante e com o oceano Atlântico, localizando-se nas cartas topográficas Paracuru (SA.24-Y-D-III), Lagoa de São Pedro (SA.24-Z-C-I), São Luís do Curu (SA.24-Y-D-VI) e Fortaleza (SA.24-Z-C-IV) (IPECE, 2016).

O município de Paraipaba que tem estimados pelo o IBGE (2017) população de 32256 pessoas e área territorial de 300.922 km² limita-se com os municípios de Paracuru, São Gonçalo do Amarante, Trairi e com o oceano Atlântico. Situa-se nas cartas topográficas Paracuru (SA.24-Y-D-III), e São Luís do Curu (SA.24-Y-D-VI) (IPECE, 2016).

O acesso para os dois municípios, a partir de Fortaleza, capital do estado, pode ser feito pela CE-085, conhecida como rodovia Sol Poente, passando por São Gonçalo do Amarante, e virando à direita ao cruzar a CE-341 para se direcionar à sede do município de Paracuru distante 90 km de Fortaleza, e à direita ao cruzar a CE-162 para se direcionar à sede do município de Paraipaba à 98 km de Fortaleza.

3.2 Bacia do Curu

O Estado do Ceará tem uma área de aproximadamente 148.825 km², dividida em 12 bacias hidrográficas, dentre as quais se encontra a do rio Curu, localizada na região norte do Estado (FIGURA 3).

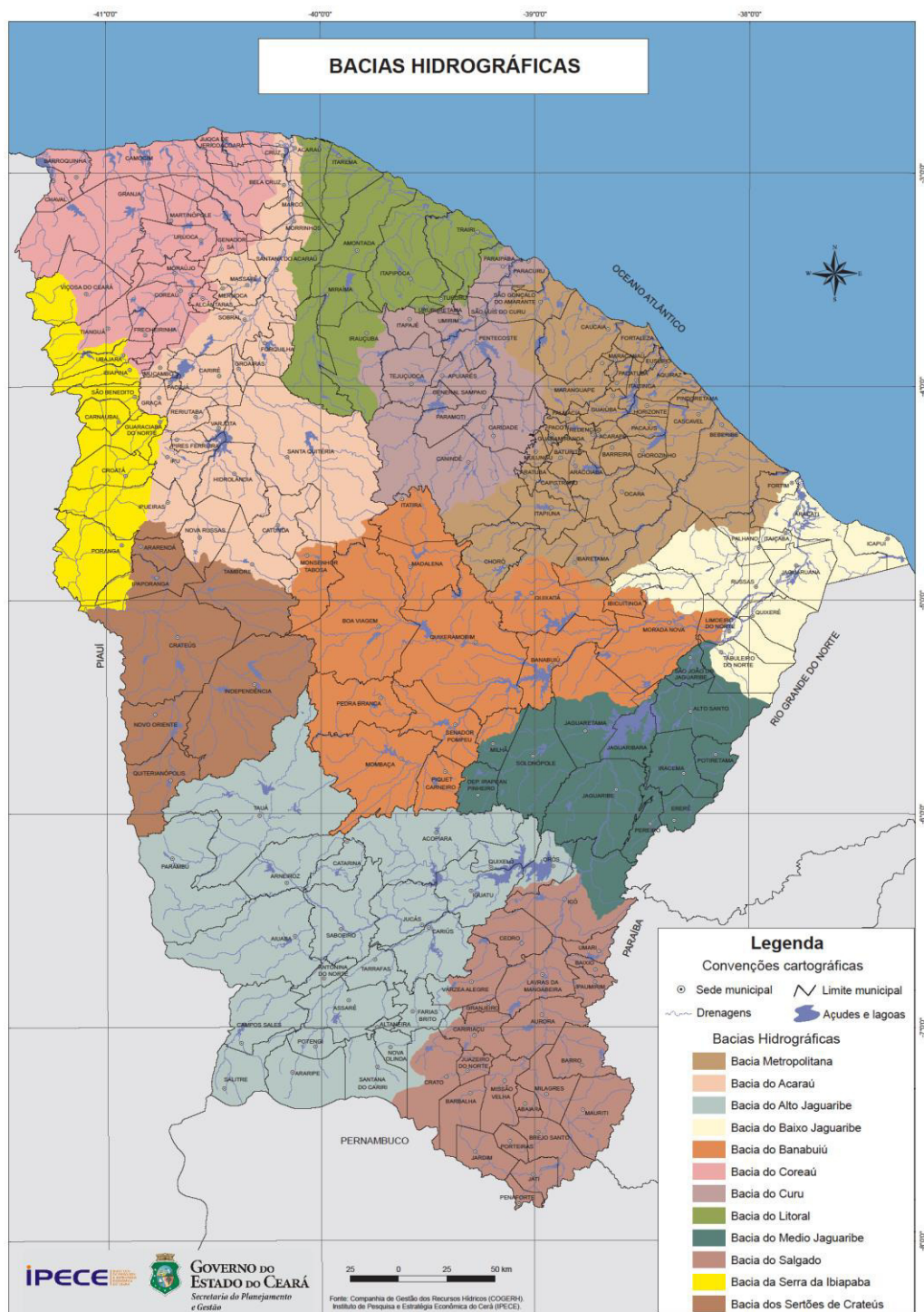
O Rio Curu nasce na região montanhosa formada pelas Serras do Céu, da Imburana e do Lucas, localizadas no centro norte do Estado. Ao longo de 195 km, até sua foz, ele flui preferencialmente no sentido sudoeste-nordeste. A bacia do Curu tem uma área de drenagem de aproximadamente 8.528 km² (SOHIDRA, 2017).

A bacia do Curu possui zonas montanhosas como divisor de águas, tais como a Serra de Baturité, que fica a leste e a Serra de Uruburetama, que fica a oeste.

Quanto ao regime pluviométrico, a bacia apresenta distribuição espacial irregular, cujas precipitações crescem no sentido do sertão para o litoral, alcançando valores superiores a 1.000 mm anuais na região do perímetro irrigado Curu-Paraipaba, que se encontra próximo à foz do rio Curu.

O rio Curu é perenizado por treze açudes, dentre os quais, apenas três, o General Sampaio (322,2 hm³), o Pentecoste (395,6 hm³) e o Caxitoré (202,0 hm³), acumulam cerca de 86% do volume máximo previsto pela COGERH para a bacia, que é de 1.068,3 hm³. Seus principais afluentes são os rios Canindé, à esquerda e o Caxitoré, à direita.

Figura 3 – Bacias hidrográficas do Ceará

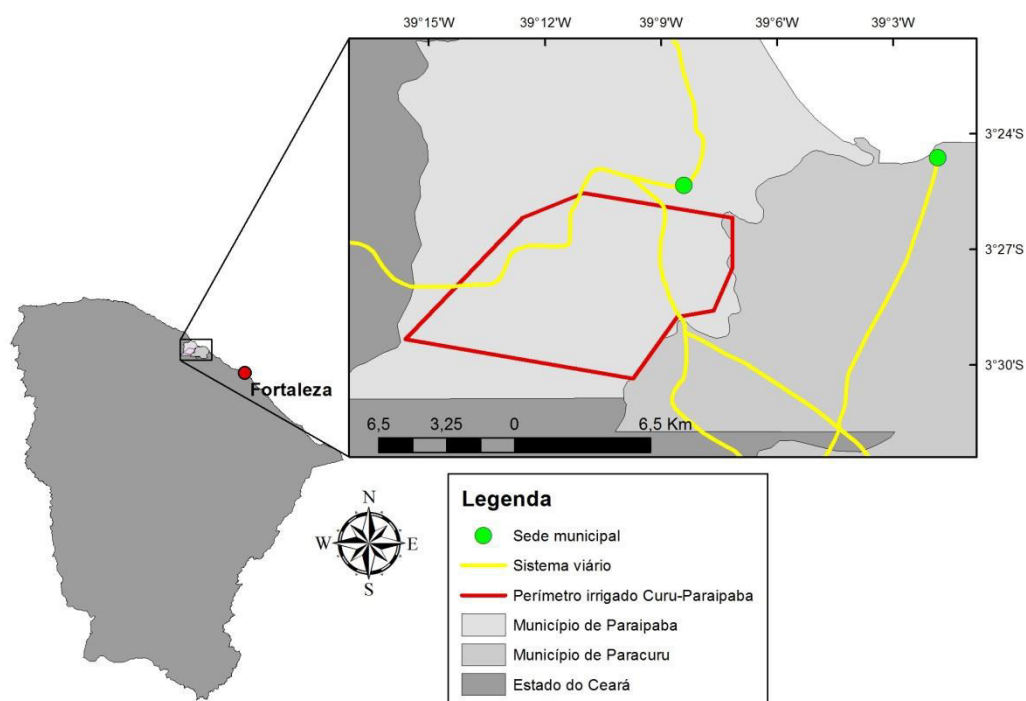


Fonte: IPECE, 2016.

3.3 Perímetro irrigado Curu-Paraipaba

O Perímetro Irrigado Curu-Paraipaba localiza-se no município de Paraipaba, litoral oeste cearense, à margem esquerda do Rio Curu, entre as coordenadas geográficas 3°25'30" a 3°30'30" S e 39°16'00" a 39°7'00" W (FIGURA 4), com altitude média de 25 m acima do nível do mar e a aproximadamente 90 km de Fortaleza (DNOCS, 2017; ADECE, 2011).

Figura 4 – Localização do Perímetro Irrigado Curu-Paraipaba



Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo ADECE (2011) o relevo na área do perímetro é suavemente ondulado, com declividade mais íngreme no sentido dos talwegues principais da área que esta classificada como sendo do grupo barreirais apresentando solo podzólico, latossolos e areias quartzosas. Os solos em geral na região são profundos, bem drenados e de boa fertilidade, permitindo o cultivo tanto de culturas anuais como perenes e se enquadram nas classes 2 e 3 de solos para irrigação.

A água utilizada no perímetro é classificada como C3 S1 que é adequada para uso em solo sem camadas limitantes, de forma que possa ocorrer lixiviação de sais.

3.4 Clima

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Tropical Quente Semiárido Brando do tipo Aw', com chuvas máximas de outono e temperatura média mensal entre 26 e 28 °C. A estação chuvosa acontece no período de janeiro a maio (com pluviosidade média anual de 1.238 mm) e a seca, de junho a dezembro (PALÁCIO *et al.*, 2009; IPECE, 2017a; IPECE, 2017b).

3.5 Vegetação

Regionalmente a vegetação natural predominante na região é a de zona litorânea (complexo vegetacional da zona litorânea), com gramíneas e ervas na faixa de dunas, caatinga e mata serrana nos tabuleiros e mata ciliar ao longo do rio Curu, com predominância de carnaúbas e dicotiledôneas (floresta mista dicótillo-palmácea) (IPECE, 2016; FEITOSA *et al.*, 1998).

No perímetro irrigado Curu-Paraipaba a vegetação nativa da região é mantida em boa parte da área, mas em sua maioria a paisagem é composta por plantas cultivadas intensivamente, como o caso do coqueiro e da cana-de-açúcar, e outras plantas cultivadas em menor escala.

3.6 Solo e relevo

Segundo o mapa de solos do Brasil (IBGE, 2001) na área de estudo os tipos solos predominantes são o Neossolo Quartzarênico e o Argissolo vermelho-amarelo (FIGURA 5).

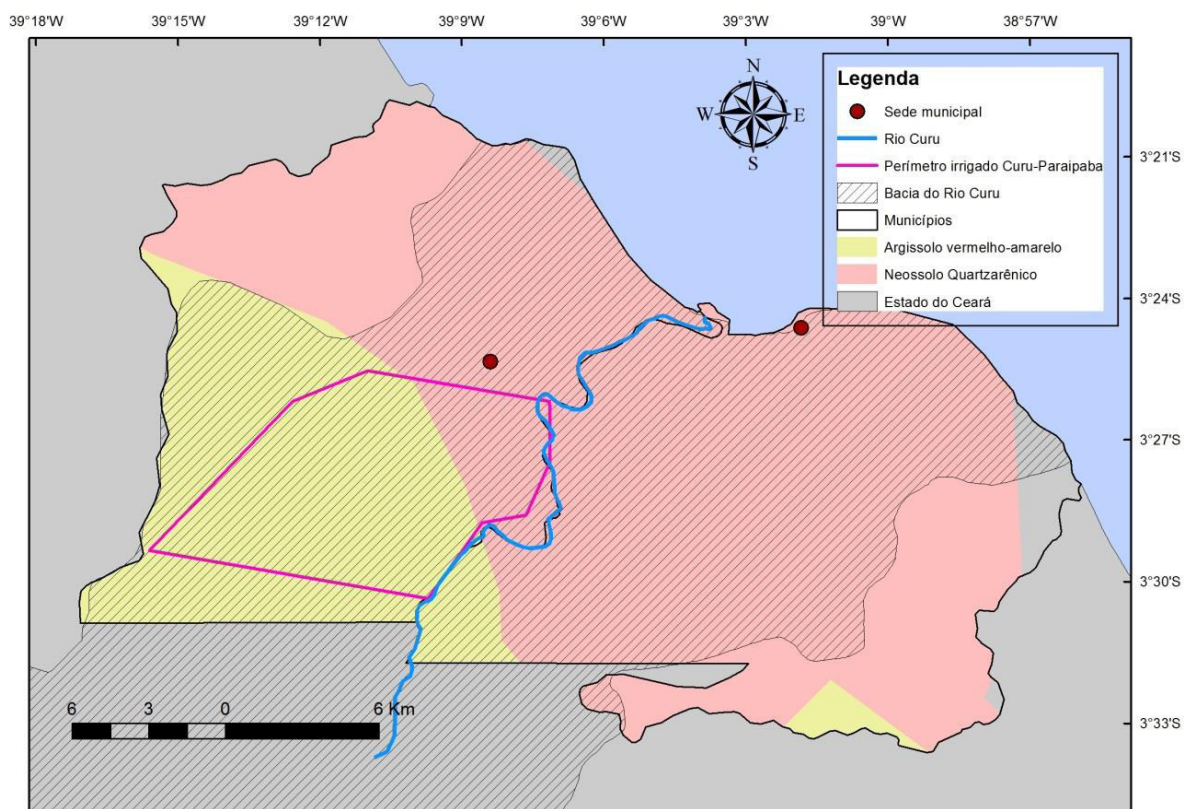
A classe dos Neossolos quartzarênicos apresenta textura essencialmente arenosa ao longo do perfil. Estes solos possuem boa drenagem e por serem profundos não apresentam limitação física para o desenvolvimento radicular em profundidade. São considerados solos mais apropriados para reflorestamento, sendo porém, nos estados de São Paulo, Ceará e Bahia, utilizados para cultura de cana-de-açúcar, verificando-se no nordeste grandes áreas cultivadas com cajueiro.

Os Neossolos Quartzarênicos encontrados na área de estudo são classificados no terceiro nível categórico do SiBCS como Órticos que não apresentam restrição ao uso e manejo (EMBRAPA, 2017b).

Os Argissolos Vermelho-Amarelos são solos profundos, bem estruturados e bem drenados, que também são desenvolvidos do Grupo Barreiras de rochas cristalinas ou sob sua influência. Atualmente estes solos são predominantemente usados nos cultivos da cana-de-açúcar, de frutíferas como jaca, manga, banana, sapoti, citros, coco, acerola, de algumas pastagens plantadas e de outras culturas como a mandioca (EMBRAPA, 2017a).

O relevo regional é caracterizado predominantemente por Planície Litorânea e Tabuleiros Pré-Litorâneos. A região é plana e os componentes da paisagem são os campos de dunas móveis e fixas na zona costeira, a planície fluvial do rio Curu e a faixa dos tabuleiros pré-litorâneos (FEITOSA *et al.*, 1998; IPECE, 2017a; IPECE, 2017b).

Figura 5 – Solos da área de estudo

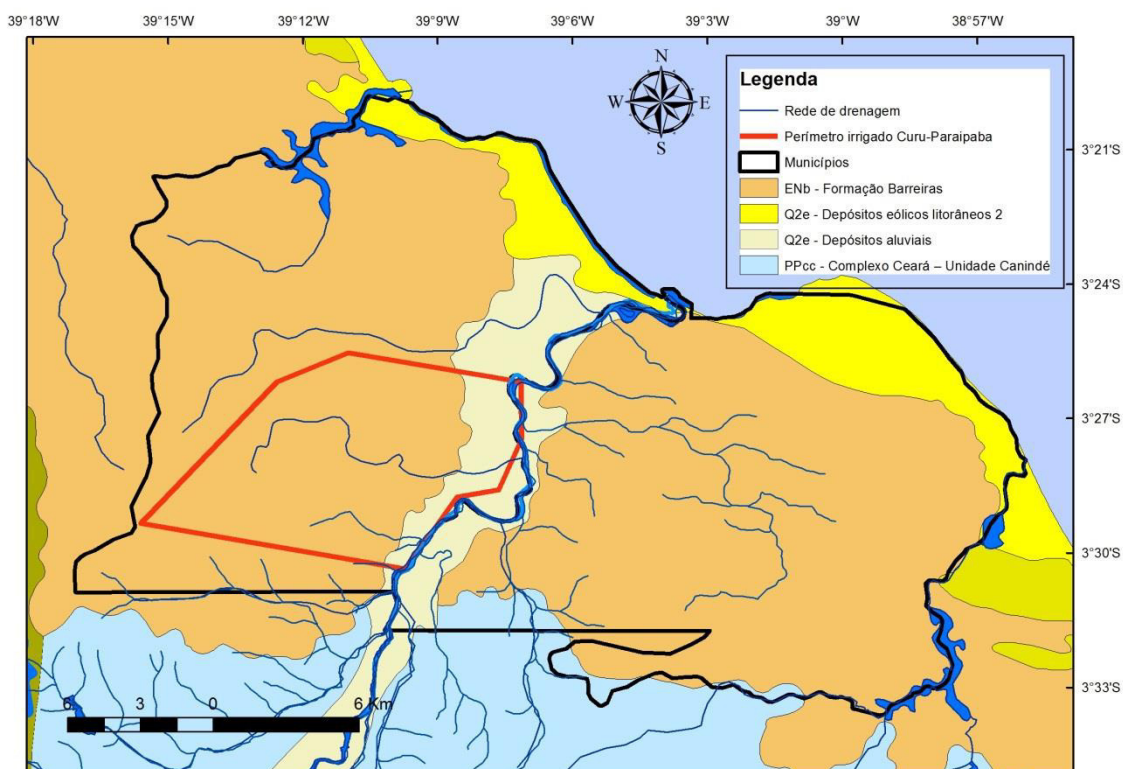


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.7 Geologia

Na região do baixo curso do rio Curu, a geologia é constituída por sedimentos areno-argilosos, com níveis conglomeráticos, de idade tércio-quaternária, pertencentes à Formação Barreiras, por depósitos eólicos formados por areias de paleodunas e dunas recentes do Quaternário, e por coberturas aluvionares, quaternárias, formadas por areias, siltes, argilas e cascalhos, distribuídos pelos principais cursos d'água que compõem a rede drenagem local (FEITOSA *et al.*, 1998; INESP, 2009). Uma porção da área de estudo é constituída da Unidade Canindé que é formada por paragneisses em níveis distintos de metamorfismo-migmatização, incluindo ortogneisses ácidos, rochas metabásicas, gnaisses dioríticos, metagabros, metaultramáficas, quartzitos e metacalcários (CPRM, 2003; COGERH, 2011) (FIGURA 6).

Figura 6 – Litologia na área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.8 Hidrogeologia

Segundo Feitosa *et al.* (1998), a área de estudo apresenta dois domínios hidrogeológicos diferentes (FIGURA 10): Cristalino e Sedimentar (sistemas aquíferos: Barreiras, Dunas/Paleodunas e Aluviões) (CAVALCANTE, 2007).

O meio cristalino chamado também de aquífero fissural apresentam, em geral, poços com produtividade baixa com vazões na área de estudo entre $3\text{m}^3/\text{h}$ e $10\text{m}^3/\text{h}$, com águas, na maioria das vezes, salinizadas (IBGE, 2013). Nesse tipo de domínio, a ocorrência da água subterrânea depende de uma porosidade secundária, representada por fraturas e fendas de orientações aleatórias, descontínuas e de pequena extensão, já que basicamente a porosidade primária nesse meio é inexistente (FEITOSA *et al.*, 1998; CAVALCANTE, 2007).

Intercalações de níveis mais e menos permeáveis caracterizam o domínio sedimentar (Aquífero poroso), com parâmetros hidrogeológicos variados espacialmente, conferindo a ele potencialidades diferenciadas quanto à produtividade de água subterrânea. Os sedimentos do Grupo Barreiras acumulam volumes consideráveis de água subterrânea e são responsáveis pelo abastecimento da maioria das sedes municipais da faixa litorânea nordestina. Sua grande diversidade litológica (arenitos, argilas e conglomerados) resulta em vazões igualmente variáveis (10 a $40\text{m}^3/\text{h}$). Poços com produtividade média (IBGE, 2013).

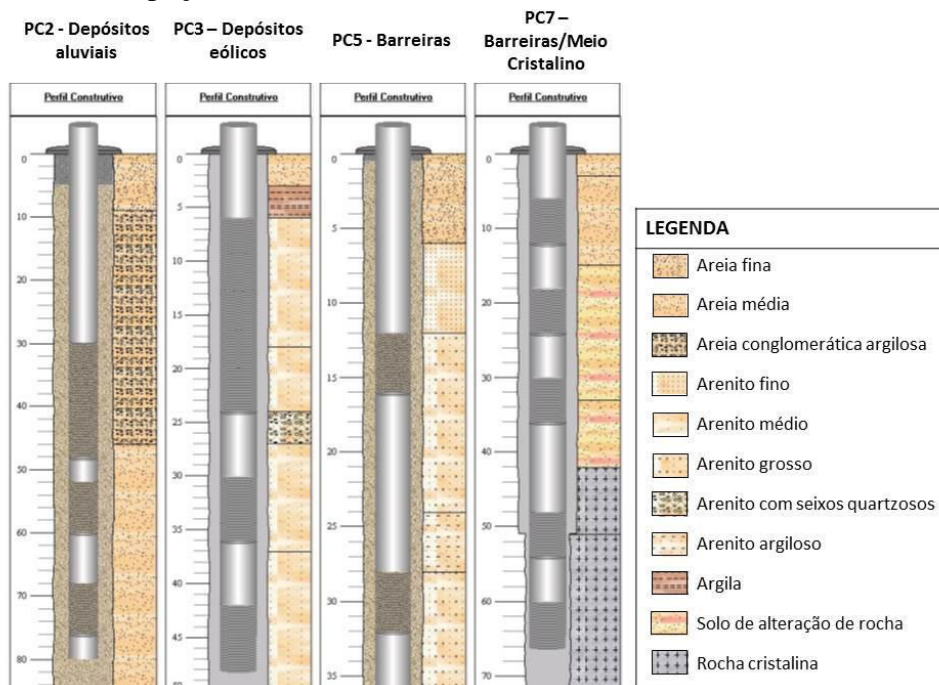
O Sistema aquífero Dunas/Paleodunas é um aquífero livre constituído por areias que repousam diretamente sobre os clásticos Barreiras, e é caracterizado como unidade geológica de alta potencialidade aquífera, devido, principalmente, às características litológicas, associadas a suas espessuras. (FEITOSA *et al.*, 1998; CAVALCANTE, 2007).

Os depósitos aluvionares são representados por sedimentos areno-argilosos recentes e têm suas ocorrências às margens das calhas dos principais cursos d'água que drenam a região, apresentando, em geral, uma boa alternativa como fonte hídrica, pois apresenta expressiva importância, do ponto de vista hidrogeológico, em regiões com predomínio de rochas cristalinas do semiárido.

Segundo Cavalcante (2007) a alta permeabilidade dos terrenos arenosos compensa as pequenas espessuras, produzindo vazões significativas. Normalmente as faixas aluvionares são captadas por cacimbas de $1,20\text{m}$ de diâmetro, profundidades inferiores a $5,0$ metros e a água é retirada com auxílio de baldes/cordas.

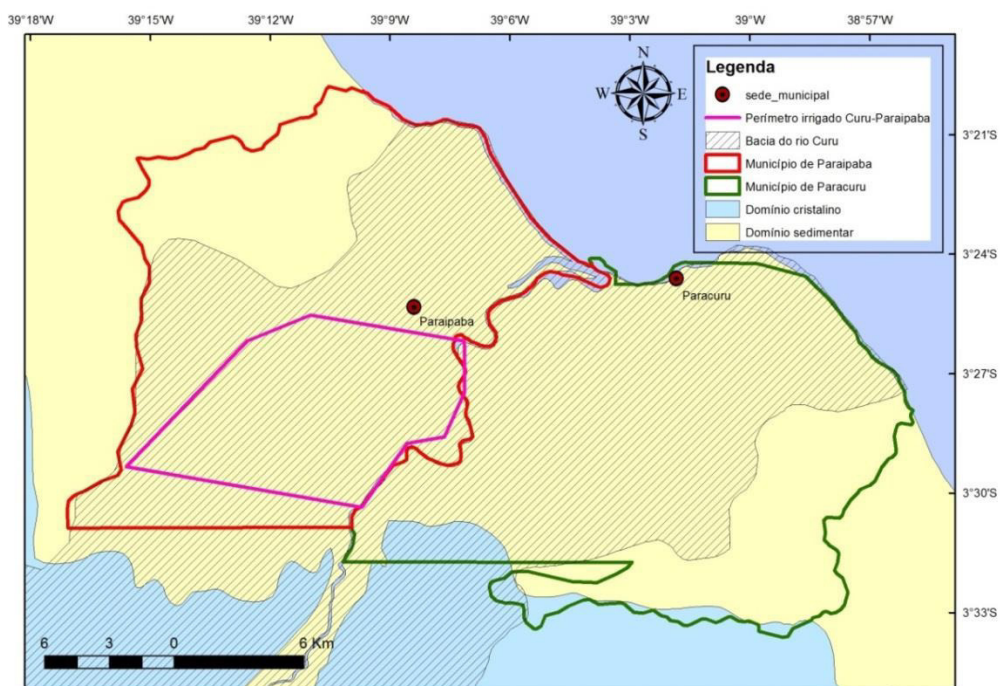
A Figura 7 mostra perfis de poços de diferentes armazenamentos da área de estudo.

Figura 7 – Perfis de poços amostrados na área de estudo



Fonte: Adaptado pelo autor de fichas técnicas da CPRM.

Figura 8 – Domínios hidrogeológicos da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para a pesquisa foi realizada análise físico-química de amostras de água de 15 poços distribuídos na área de estudo e de 5 amostras de água do rio Curu, em pontos distribuídos no trecho localizado na área de estudo.

A metodologia foi realizada em seis etapas:

- Definição dos pontos de coleta;
- Coleta de amostras;
- Análises laboratoriais;
- Balanço Iônico;
- Classificação das águas pra fins de irrigação;
- Análise estatística.

4.1 Definição dos pontos de coleta

Antes da definição dos pontos de coleta, foi realizada uma consulta prévia aos órgãos responsáveis pelo monitoramento e gestão dos recursos hídricos (Cogerh, Sohidra, Semace, Funceme, CPRM, Nutec, Cagece) que poderiam ter um banco de dados com características construtivas de poços e informações quali-quantitativas das águas exploradas, bem como informações sobre o monitoramento qualitativo das águas superficiais na área. Estas informações possibilitariam uma análise de dados secundários.

Porém para o que foi proposto como objetivo dessa pesquisa as informações cadastradas e disponíveis nos órgãos consultados do estado não foram suficientes e em alguns desses órgãos as informações eram inexistentes para as análises propostas para o trabalho. Portanto fez-se necessária a organização de campanhas de coleta de amostras dessas águas para posterior análise em laboratório.

Para definição dos pontos de coleta inicialmente elaborou-se um mapa indicando a delimitação da área de estudo, a faixa do rio Curu presente na área de estudo, a delimitação do perímetro irrigado Curu-Paraipaba e a localização espacial dos poços cadastrados pela CPRM.

A partir do mapa elaborado utilizaram-se os seguintes critérios para a definição dos poços como pontos de coleta:

- Distribuição espacial na área de estudo;
- Existência de perfis construtivos e litológicos;
- Existência de medidas de profundidade e nível estático;
- Possibilidade de acesso.

4.2 Coleta de amostras em campo

As coletas foram realizadas no período de 11 a 30 de janeiro de 2017. Os pontos de amostragem definidos na etapa anterior foram localizados com auxílio de GPS e das informações da população.

Nas coletas foram utilizados recipientes selecionados (FIGURA 9) para armazenar amostras, dependendo do tipo de análise. Os procedimentos realizados durante as amostragens estão descritos na Tabela 5.

Figura 9 – Recipientes utilizados nas coletas de água subterrânea



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os recipientes foram acondicionados em caixa de isopor com gelo (FIGURA 9), até sua chegada ao laboratório. Para preservar as amostras, os frascos foram manipulados adequadamente de modo a evitar a contaminação de sua superfície interna, principalmente próximo ao gargalo e à tampa.

Tabela 5 – Procedimentos de amostragem

| Parâmetro | Material do recipiente | Reagente | Procedimento |
|---|-------------------------------|-----------------------------------|--|
| Oxigênio | Vidro | Sulfato manganoso Azira sódica | O recipiente foi cheio de forma a expulsar o ar lentamente. Depois de cheio adicionou-se treze gotas de sulfato manganoso e oito gotas de azira sódica. Em seguida o recipiente completamente cheio foi vedado e coberto com insulfilm. |
| Amônia | Vidro âmbar | Fenol Citrato | O recipiente foi completado com amostra até a marca pré-estabelecida de 20 mL, em seguida, com auxílio de pipetas para cada reagente, adicionou-se 1 mL de Fenol e 1 mL de Citrato. Após a adição dos reagentes o recipiente foi bem fechado e acondicionado no isopor com gelo. |
| Alumínio | Plástico | Ácido nítrico | O recipiente foi completado com amostra até a marca pré-estabelecida de 100 mL e em seguida adicionou-se duas gotas de ácido nítrico. Posteriormente o recipiente foi bem fechado e acondicionado no isopor com gelo. |
| C.E, Dureza, pH, STD, Turbidez, Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , NH ₄ ⁺ , PO ₄ ³⁻ , Fe ³⁺ , Alcalinidade, SiO ₂ | Pet | | O recipiente de 500 mL foi completamente cheio, bem fechado e acondicionado no isopor com gelo. |

Fonte: Elaborada pelo autor.

No laboratório foram seguidos os prazos de análise, determinados pelas normas. O transporte até o laboratório foi realizado com a maior rapidez possível, e ao chegar algumas análises foram realizadas de imediato.

4.3 Análises laboratoriais

As análises físico-químicas das amostras de águas do rio Curu e dos poços foram realizadas no Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada, setor Geoquímica Ambiental, do Departamento de Geologia da UFC. Os procedimentos analíticos estão descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012). A Tabela 6 apresenta os métodos usados em cada análise, com os respectivos códigos dos parâmetros analisados.

Tabela 6 – Métodos analíticos aplicados de acordo com APHA (2012)

| Parâmetros físico-químicos | Método aplicado | Código |
|-----------------------------------|---------------------------|---------------|
| Alcalinidade Total | Titulométrico | 2320B |
| Alumínio | Eriocromo Cianina | 3500B |
| Amônia | Fenato | 4500F |
| Bicarbonato | Titulométrico | 2320B |
| Cálcio | Titulométrico com EDTA | 3500B |
| Cloreto | Argentométrico | 4500B |
| Condutividade | Medidor multiparâmetros | 2510A |
| Dureza Total | Titulométrico com EDTA | 2340C |
| Ferro Total | Fenantrolina | 3500B |
| Ortofosfato Solúvel | Ácido Ascórbico | 4500P |
| Fluoreto | Eletrodo de Íon Seletivo | 4500C |
| Magnésio | Titulométrico com EDTA | 2340C |
| Nitrato | Coluna redutora de cádmio | 4500E |
| Nitrito | Espectrofotométrico | 4500B |
| pH | Eletrométrico | 4500H |
| Potássio | Fotométrico | 3500B |
| Sódio | Fotométrico | 3500B |
| Sólidos Suspensos | Gravimétrico | 2540D |
| Sólidos Totais Dissolvidos | Medidor multiparâmetros | 2540C |
| Sulfato | Turbidimétrico | 4500E |
| Sílica | Molibdosilicato | 4500C |
| Turbidez | Nefelométrico | 2130B |

Fonte: Adaptado pelo autor de APHA, 2012.

Na coleta de água para determinação da amônia, os reagentes, fenol e citrato, foram adicionados imediatamente após a coleta, e em seguida as amostras foram mantidas ao abrigo da luz até a chegada ao laboratório. As amostras destinadas a determinação do alumínio foram acidificadas com ácido nítrico e mantidas sob refrigeração. Na análise da amônia o hipoclorito foi substituído por dicloisocianurato sódico dihidratado, conforme Aminot e Chaussepied (1983) e Aminot e Kérrouel (2004).

O pH, a condutividade elétrica e a salinidade da água foram medidos usando um medidor multiparâmetros, da marca Thermo Scientific Orion, modelo Star A329 Portable.

O Nitrogênio Total e o Fósforo Total foram determinados pelo método da Coluna Redutora de Cádmio e do Ácido Ascórbico, respectivamente, após digestão com persulfato.

4.4 Balanço iônico

A concentração total dos cátions deve ser aproximadamente igual à concentração total dos ânions numa análise hidroquímica completa. Essa relação entre cátions e ânions pode ser calculada através do coeficiente de erro das análises (E %), que deve atingir o valor máximo de 10% para análises aproveitáveis, e pode ser obtido pela equação 1 definida por Logan (1965).

$$E = \left| \frac{r \sum A - r \sum C}{r \sum A + r \sum C} \right| \times 100 \quad (1)$$

$r \sum A$ = Concentração total de ânions, em meq/L

$r \sum C$ = Concentração total de cátions, em meq/L

E = Erro das análises (%)

Para avaliar a qualidade dos resultados obtidos pela análise hidroquímica das amostras analisadas nesse estudo, foi realizado o cálculo de balanço iônico e conseqüentemente gerado o Diagrama de Piper confeccionado com o auxílio do software QualiGraf de Möbus (2003), objetivando classificar as águas das amostras analisadas no que se refere aos íons dominantes na área de estudo.

4.5 Classificação das águas para fins de irrigação

A classificação da água para fins de irrigação é dada pela utilização da condutividade elétrica juntamente com a Razão de Adsorção de Sódio – RAS, que é uma razão que indica a percentagem de sódio contido numa água que pode ser adsorvido pelo solo. O RAS é calculado através da equação 2 e quanto maior seu valor menos apropriado a água é para irrigação.

$$\text{SAR} = \frac{rNa^+}{\sqrt{\frac{r(Ca^{+2}+Mg^{+2})}{2}}} \quad (2)$$

Para a classificação da água para fins de irrigação das 20 amostras em estudo foi utilizada a classificação proposta pelo United States Salinity Laboratory (USSL) com o auxílio do software Qualigraf Möbus (2003).

4.6 Análise estatística

As análises estatísticas dos dados foram processadas no *software IBM SPSS*, versão 17.0. Seguindo a rotina definida por Araújo *et al.* (2013), inicialmente construiu-se uma matriz de correlação, para avaliar o grau de associação entre os atributos. Posteriormente, executou-se a análise fatorial pelo método das componentes principais, objetivando identificar um número menor de componentes que explicasse as principais informações e variâncias das variáveis originais, utilizando-se para isso a rotação *varimax* normalizada.

Os dados foram padronizados pelo método *Z scores* com o intuito de eliminar os efeitos produzidos pelas diferentes escalas e unidades. O índice *KMO* (*Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy*) e o teste estatístico de esfericidade de *Bartlett* foram utilizados para verificar a adequação dos dados à análise fatorial (CORRAR *et al.*, 2017).

O diferencial do teste de esfericidade de *Bartlett* é de garantir a ortogonalidade dos fatores estimados. Esse método indica se a matriz de correlação é uma matriz identidade com determinante igual a 1, ou seja, uma matriz com diagonal principal igual a 1 e todos os outros valores iguais a zero (FÁVERO, 2009).

Em seguida realizou-se a análise de agrupamento, objetivando agrupar amostras a partir do maior número de atributos explicados por um único fator da análise fatorial. Nessa etapa utilizou-se o método *Ward's* como critério hierárquico de agrupamento, pois tem mostrado alta eficiência na formação de grupos como atestam Fernandes *et al.* (2010) e Vicini e Souza (2005). A medida de similaridade utilizada foi a “distância euclidiana quadrada” (*squared euclidean distance*) que é a medida de

distância mais adequada para o método de aglomeração escolhido (MALHOTRA, 2006).

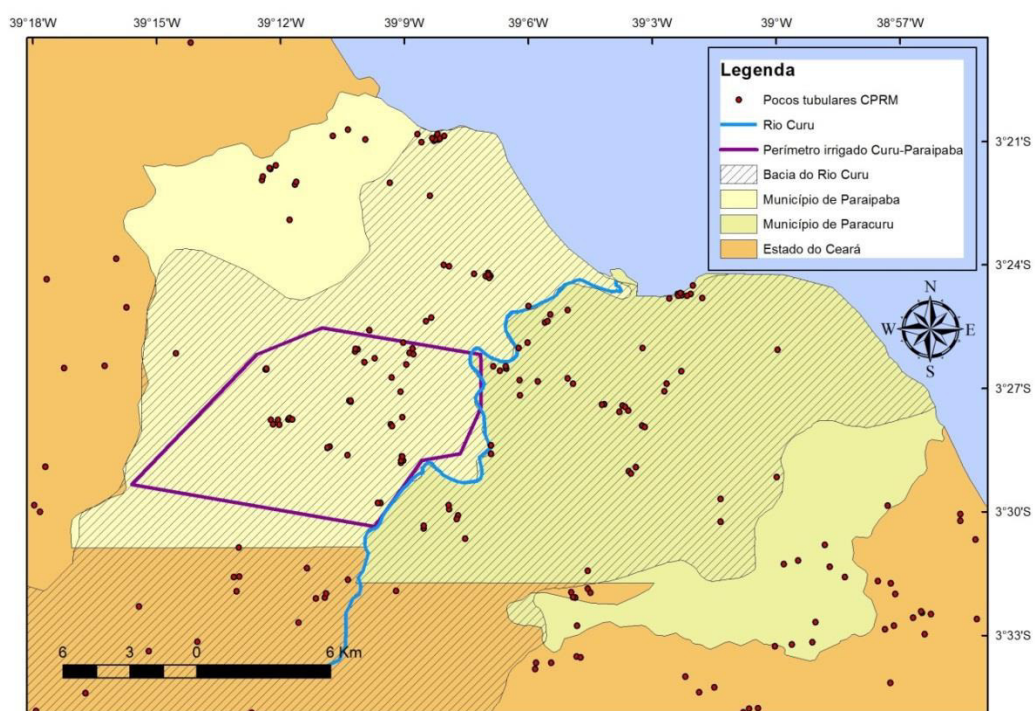
Como afirma Hair *et al* (2005), a medida de similaridade, utilizada no método de Ward, é calculada como a soma de quadrados entre os dois agrupamentos feita sobre todas as variáveis. Em cada estágio, combinam-se os dois agrupamentos que resultam do menor incremento, na soma geral da distância quadrática entre os grupos (Scheeren *et al.* 2000).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Definição dos pontos de coleta

Como resultado de consulta realizada no sistema de informações de águas subterrâneas- SIAGAS (CPRM, 2016), obteve-se base necessária para a elaboração de um mapa no qual se pode observar a localização de todos os poços tubulares cadastrados que ficam dentro da área de estudo, assim como de seu entorno (FIGURA 10).

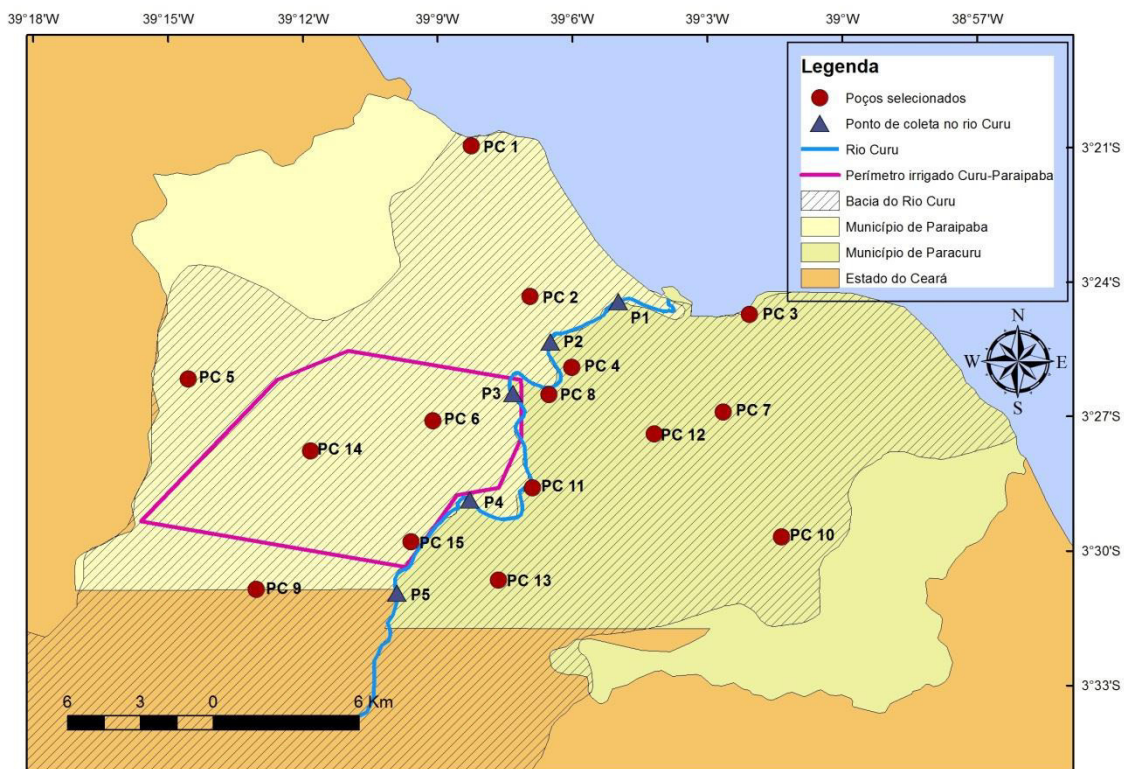
Figura 10 – Faixa do rio Curu, delimitação da área de estudo e localização espacial dos poços cadastrados pela CPRM



Fonte: Elaborado pelo autor.

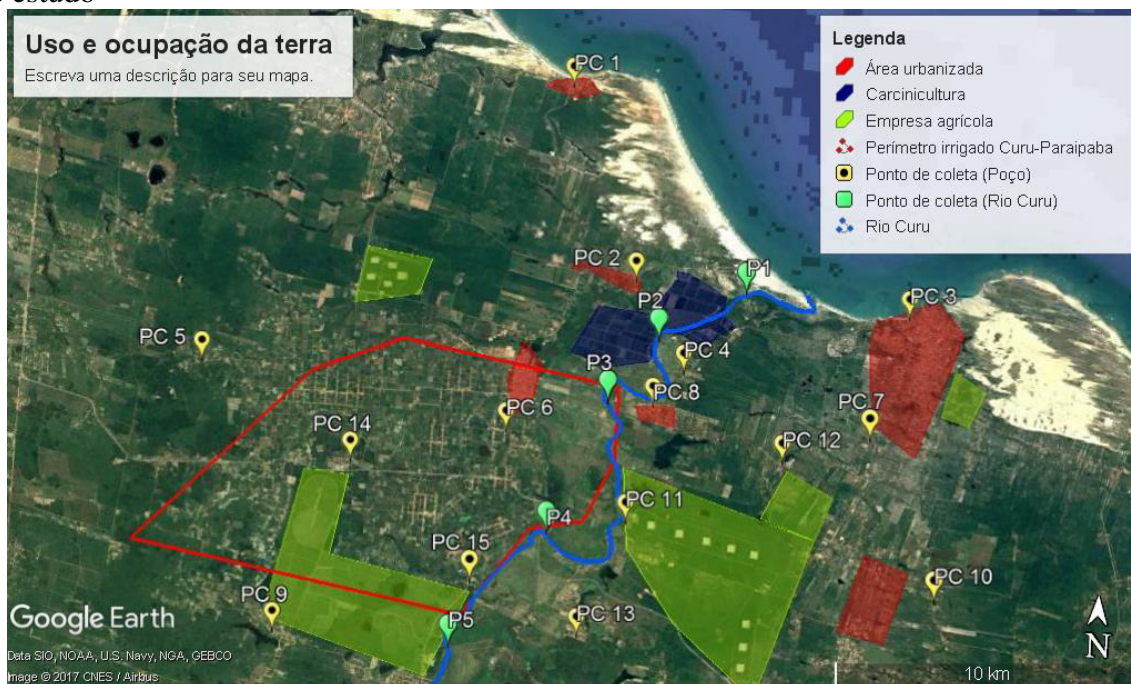
A Figura 11 ilustra o mapa com os pontos de coleta definidos utilizando como base a Figura 10 e os critérios adotados na definição dos pontos de coleta. Para efeito de melhor visualização nos mapas, nas planilhas e gráficos, os pontos de coleta no rio foram nomeados com a letra P, e os poços com as letras PC, seguidos de uma numeração.

Figura 11 – Pontos de coleta de amostras de água do rio Curu e de poços na área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 12 – Uso e ocupação do solo e localização dos pontos de amostragem na área de estudo



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2017.

A Figura 12 mostra os pontos de coleta em imagem de satélite da área de estudo. Ela auxiliará no entendimento das condições de uso e ocupação do solo nas proximidades de onde foram amostradas as águas superficiais e subterrâneas. O rio Curu está representado pela linha azul e o perímetro irrigado Curu-Paraipaba pelo polígono em vermelho. Os marcadores azuis representam os pontos de coleta no trecho analisado do rio Curu e os marcadores amarelos representam a localização dos poços selecionados, com a numeração correspondente.

Na Tabela 7 encontram-se as coordenadas geográficas e as respectivas localidades dos pontos de amostragem das águas no trecho estudado.

Tabela 7 – Localização dos pontos amostrados (P: ponto de coleta no rio; PC: ponto de coleta nos poços)

| Ponto de amostragem | Código CPRM | Localidade | Coord UTM E | Coord UTM N | Município |
|---------------------|-------------|----------------------------------|-------------|-------------|-------------------------|
| P 1 | - | Barra | 490769 | 9623386 | Limite entre municípios |
| P 2 | - | Torrões | 487984 | 9621729 | Limite entre municípios |
| P 3 | - | Poço Doce | 486432 | 9619619 | Limite entre municípios |
| P 4 | - | Ponte da Paraipaba | 484665 | 9615247 | Limite entre municípios |
| P 5 | - | Curral Grande | 481667 | 9611394 | Limite entre municípios |
| PC 1 | 2300021025 | Lagoinha | 484729 | 9629807 | Paraipaba |
| PC 2 | 2300020556 | Boa Vista | 487133 | 9623607 | Paraipaba |
| PC 3 | 2300003488 | Hospital | 496174 | 9622872 | Paracuru |
| PC 4 | 2300013164 | Torrões | 488858 | 9620698 | Paracuru |
| PC 5 | 2300018425 | Zabelê | 473074 | 9620222 | Paraipaba |
| PC 6 | 2300018476 | C-02 | 483150 | 9618495 | Paraipaba |
| PC 7 | 2300003482 | Sítio Coqueiro | 495094 | 9618850 | Paracuru |
| PC 8 | 2300020985 | Poço Doce-Posto de saúde | 487916 | 9619568 | Paracuru |
| PC 9 | 2300013497 | Salgado | 475877 | 9611571 | Paraipaba |
| PC 10 | 2300020984 | Jardim dos Gois - Posto de saúde | 497492 | 9613715 | Paracuru |
| PC 11 | 2300003486 | Fazenda Cialne | 487234 | 9615743 | Paracuru |
| PC 12 | 2300003484 | Volta | 492256 | 9617959 | Paracuru |
| PC 13 | | Grossos | 485842 | 9611940 | Paracuru |
| PC 14 | 2300013490 | Centro Gerencial do DNOCS | 478115 | 9617251 | Paraipaba |
| PC 15 | 2300014130 | Córrego do Mato | 482242 | 9613527 | Paraipaba |

Fonte: Adaptado de CPRM, 2016.

5.2 Análises laboratoriais

A Tabela 8 apresenta o resultado das análises físico-químicas realizadas para Condutividade elétrica, dureza, pH, sólidos totais dissolvidos, turbidez, cálcio, magnésio, potássio, sódio, cloreto, sulfato, bicarbonato, nitrato, nitrito, amônia, fosfato,

ferro, alcalinidade, sílica e alumínio para as 20 amostras selecionadas, sendo 15 de águas subterrâneas e 5 de águas superficiais.

A estatística descritiva dos teores e medidas de cada um dos 20 atributos físico-químicos analisados para esse trabalho pode ser conferida na Tabela 9.

O cálculo da mediana dos valores obtidos nas análises de cada atributo foi necessário, pois as médias mostraram-se não representativas devido aos valores anômalos das amostras P1 e P2, que são provenientes de águas estuarinas.

Tabela 8 – Valores resultantes da análise físico-química de 5 amostras de água superficial (P1, P2, P3, P4 e P5) e de 15 amostras de água subterrânea (PC1 a PC15) da área de estudo

| Amostra | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 | PC6 | PC7 | PC8 | PC9 | PC10 | PC11 | PC12 | PC13 | PC14 | PC15 | VMP |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|---------|
| C.E (µS/cm) | 49.260 | 49.140 | 1.121 | 2.650 | 922 | 485 | 465 | 260 | 152 | 755 | 408 | 68 | 455 | 740 | 667 | 853 | 269 | 2.973 | 700 | 436 | - |
| Dureza (mg CaCO₃/L) | 6.200 | 6.400 | 158 | 296 | 174 | 38 | 68 | 42 | 12 | 36 | 16 | 10 | 78 | 110 | 72 | 126 | 38 | 752 | 56 | 36 | 500 |
| pH | 7,72 | 7,45 | 9,28 | 8,25 | 7,78 | 6,45 | 7,02 | 5,58 | 4,97 | 5,71 | 5,86 | 5,36 | 5,93 | 6,33 | 6,29 | 5,52 | 5,6 | 8,04 | 5,23 | 7,26 | 6,0-9,5 |
| STD (mg/L) | 28.723 | 28.891 | 596 | 1348 | 535 | 302 | 285 | 170 | 96 | 371 | 285 | 64 | 276 | 455 | 333 | 457 | 171 | 1776 | 354 | 310 | 1000 |
| Turbidez (UNT) | 35 | 40 | 84 | 62 | 46 | 14,6 | 12,6 | 15,1 | 12,7 | 26 | 33,1 | 38,2 | 14,2 | 33,1 | 15,8 | 12,6 | 13,8 | 13,1 | 13,5 | 60 | 5 |
| Cálcio (mg Ca²⁺/L) | 400 | 400 | 21,6 | 32 | 28 | 3,2 | 15,2 | 2,4 | 1,6 | 1,6 | 4 | 2,4 | 6,4 | 14,4 | 4 | 8,8 | 1,6 | 35,2 | 5,6 | 8 | - |
| Magnésio (mg Mg²⁺/L) | 1.248 | 1.296 | 25 | 51,8 | 25 | 7,2 | 7,2 | 8,6 | 1,9 | 7,7 | 1,4 | 1 | 14,9 | 17,8 | 14,9 | 25 | 8,2 | 159,4 | 10,1 | 3,8 | - |
| Potássio (mg K⁺/L) | 350 | 350 | 11,4 | 5,7 | 5,7 | 6,8 | 8,7 | 5,3 | 2,6 | 3,6 | 6,8 | 1,6 | 7,9 | 3,9 | 10,6 | 4,8 | 5,3 | 2,6 | 4,9 | 6,8 | - |
| Sódio (mg Na⁺/L) | 7.520 | 7.655 | 120,4 | 309,5 | 101,6 | 65,9 | 53,4 | 31,9 | 20,3 | 115,2 | 65,9 | 9,4 | 46,3 | 90,6 | 80 | 113 | 35,5 | 388 | 106,9 | 65,9 | 200 |
| Cloreto (mg Cl⁻/L) | 16.846 | 17.037 | 260,3 | 648,9 | 185,7 | 97,6 | 107,2 | 47,9 | 28,7 | 191,4 | 80,4 | 11,5 | 82,5 | 147,4 | 162,7 | 206,7 | 53,6 | 702,5 | 189,5 | 63,2 | 250 |
| Sulfato (mg SO₄²⁻/L) | 2.202 | 1.989 | 29,7 | 32,9 | 10,7 | 9,4 | 0,5 | 14,5 | 0,5 | 0,5 | 18,3 | 0,5 | 13,5 | 8,3 | 11,8 | 7,2 | 8,1 | 16,2 | 0,5 | 4,7 | 250 |
| Bicarbonato (mg HCO₃⁻/L) | 152,8 | 157,7 | 115,8 | 253,8 | 162,7 | 59,1 | 41,9 | 19,7 | 9,9 | 37 | 22,2 | 12,3 | 29,6 | 46,8 | 37 | 12,3 | 19,7 | 362,3 | 9,9 | 130,6 | - |
| Nitrato (mg N-NO₃⁻/L) | 0,16 | 0,15 | 0,09 | 0,11 | 0,09 | 0,4 | 0,5 | 4,4 | 1,7 | 0,4 | 4,7 | 0,6 | 14,7 | 15,2 | 0,6 | 13,1 | 4,9 | 16,5 | 3,3 | 0,5 | 10 |
| Nitrito (mg N-NO₂⁻/L) | 0,01 | 0,014 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,005 | <0,001 | 0,002 | 0,003 | 0,001 | <0,001 | 0,083 | 0,145 | <0,001 | <0,001 | 0,013 | <0,001 | 0,007 | 1 |
| N Amoniacal (mg N-NH_{3,4}/L) | 0,1 | 0,31 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 3,4 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 3,61 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 1,3 | 1,5 |
| Fosfato (mg P-PO₄³⁻/L) | <0,01 | 0,01 | 0,03 | <0,01 | <0,01 | 0,05 | 0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,07 | <0,01 | 0,01 | <0,01 | 0,03 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,05 | - |
| Ferro Total (mg Fe/L) | 1 | 4,9 | 2,2 | 2 | 1,6 | 0,4 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 4 | 1,3 | 1,9 | 0,5 | 1,2 | 0,7 | 0,1 | 0,8 | 0,1 | 0,1 | 3,9 | 0,3 |
| Alcalinidade (mg CaCO₃/L) | 125,2 | 129,3 | 94,9 | 208,1 | 133,3 | 48,5 | 34,3 | 16,2 | 8,1 | 30,3 | 18,2 | 10,1 | 24,2 | 38,4 | 30,3 | 10,1 | 16,2 | 296,9 | 8,1 | 107,1 | - |
| Sílica (mg SiO₂/L) | 3,7 | 6,3 | 12 | 13 | 16 | 51 | 48,7 | 19,9 | 22,7 | 12 | 65 | 22,2 | 25,1 | 58,8 | 9,2 | 21,9 | 22 | 36,9 | 12 | 24,5 | - |
| Alumínio (mg Al/L) | 0,1 | 0,22 | 0,18 | 0,06 | 0,13 | 0,04 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,19 | 0,07 | 0,16 | 0,27 | 0,2 | 0,12 | 0,03 | 0,04 | 0,02 | 0,03 | 0,18 | 0,2 |

VMP: Valor Máximo Permitido pela Portaria 2914/2011 do
MINISTÉRIO DA SAÚDE (BRASIL, 2011) .

Valores acima do permitido

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 9 – Estatística descritiva das concentrações e medidas dos atributos físico-químicos analisados para 20 amostras

| Amostra | Mínimo | Máximo | Média | Mediana | Desvio | cv |
|--|--------|-----------|----------|---------|-----------|-----|
| C.E ($\mu\text{S/cm}$) | 68,00 | 49.260,00 | 5.638,95 | 683,50 | 14.916,02 | 265 |
| Dureza (mg CaCO_3/L) | 10,00 | 6.400,00 | 735,90 | 70,00 | 1.910,25 | 260 |
| pH | 4,97 | 9,28 | 6,58 | 6,31 | 1,20 | 18 |
| STD (mg/L) | 64,00 | 28.891,00 | 3.289,90 | 343,50 | 8.736,29 | 266 |
| Turbidez (UNT) | 12,60 | 84,00 | 29,77 | 20,90 | 20,47 | 69 |
| Cálcio (mg Ca^{2+}/L) | 1,60 | 400,00 | 49,80 | 7,20 | 120,22 | 241 |
| Magnésio (mg Mg^{2+}/L) | 1,00 | 1.296,00 | 146,75 | 12,50 | 386,45 | 263 |
| Potássio (mg K^+/L) | 1,60 | 350,00 | 40,25 | 5,70 | 105,96 | 263 |
| Sódio (mg Na^+/L) | 9,40 | 7.655,00 | 849,74 | 85,30 | 2.306,20 | 271 |
| Cloreto (mg Cl^-/L) | 11,50 | 17.037,00 | 1.857,54 | 155,05 | 5.161,92 | 278 |
| Sulfato (mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{L}$) | 0,50 | 2.202,00 | 218,94 | 10,05 | 642,76 | 294 |
| Bicarbonato (mg HCO_3^-/L) | 9,90 | 362,30 | 84,66 | 39,45 | 94,68 | 112 |
| Nitrato (mg $\text{N-NO}_3^-/\text{L}$) | 0,09 | 16,50 | 4,11 | 0,60 | 5,78 | 141 |
| Nitrito (mg $\text{N-NO}_2^-/\text{L}$) | 0,00 | 0,15 | 0,01 | 0,00 | 0,04 | 245 |
| N Amoniacal (mg $\text{N-NH}_{3,4}/\text{L}$) | 0,01 | 3,61 | 0,44 | 0,01 | 1,09 | 246 |
| Fosfato (mg $\text{P-PO}_4^{3-}/\text{L}$) | 0,01 | 0,07 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 98 |
| Ferro Total (mg Fe/L) | 0,10 | 4,90 | 1,36 | 0,90 | 1,43 | 105 |
| Alcalinidade (mg CaCO_3/L) | 8,10 | 296,90 | 69,39 | 32,30 | 77,60 | 112 |
| Sílica (mg SiO_2/L) | 3,70 | 65,00 | 25,15 | 21,95 | 17,72 | 70 |
| Alumínio (mg Al/L) | 0,01 | 0,27 | 0,11 | 0,09 | 0,08 | 77 |

Fonte: Elaborada pelo autor.

5.3 Balanço iônico

O Balanço iônico das análises de cada amostra pode ser conferido na Tabela 10, onde se verifica que todas as 20 amostras analisadas apresentaram erros toleráveis, abaixo de 10%.

Tabela 10 – Resultados do Balanço iônico das amostras analisadas

| Amostra | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 |
|------------------|--------|--------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|
| Σ Cátions | 458,70 | 468,52 | 8,66 | 19,47 | 8,02 | 3,79 | 3,90 | 2,35 | 1,19 | 5,82 |
| Σ ânions | 523,58 | 524,61 | 9,86 | 23,15 | 8,13 | 3,92 | 3,72 | 1,98 | 0,98 | 6,02 |
| B.I. (%) | 6,60 | 5,65 | 6,45 | 8,64 | 0,66 | 1,62 | 2,31 | 8,65 | 9,39 | 1,69 |
| Amostra | PC6 | PC7 | PC8 | PC9 | PC10 | PC11 | PC12 | PC13 | PC14 | PC15 |
| Σ Cátions | 3,36 | 0,65 | 3,76 | 6,22 | 5,18 | 7,53 | 2,43 | 31,81 | 5,89 | 3,75 |
| Σ ânions | 3,01 | 0,54 | 3,09 | 5,10 | 5,44 | 6,18 | 2,00 | 26,09 | 5,52 | 4,02 |
| B.I. (%) | 5,38 | 9,73 | 9,74 | 9,95 | 2,50 | 9,85 | 9,70 | 9,88 | 3,22 | 3,45 |

Fonte: Elaborada pelo autor.

Legenda: B.I. – Balanço iônico.

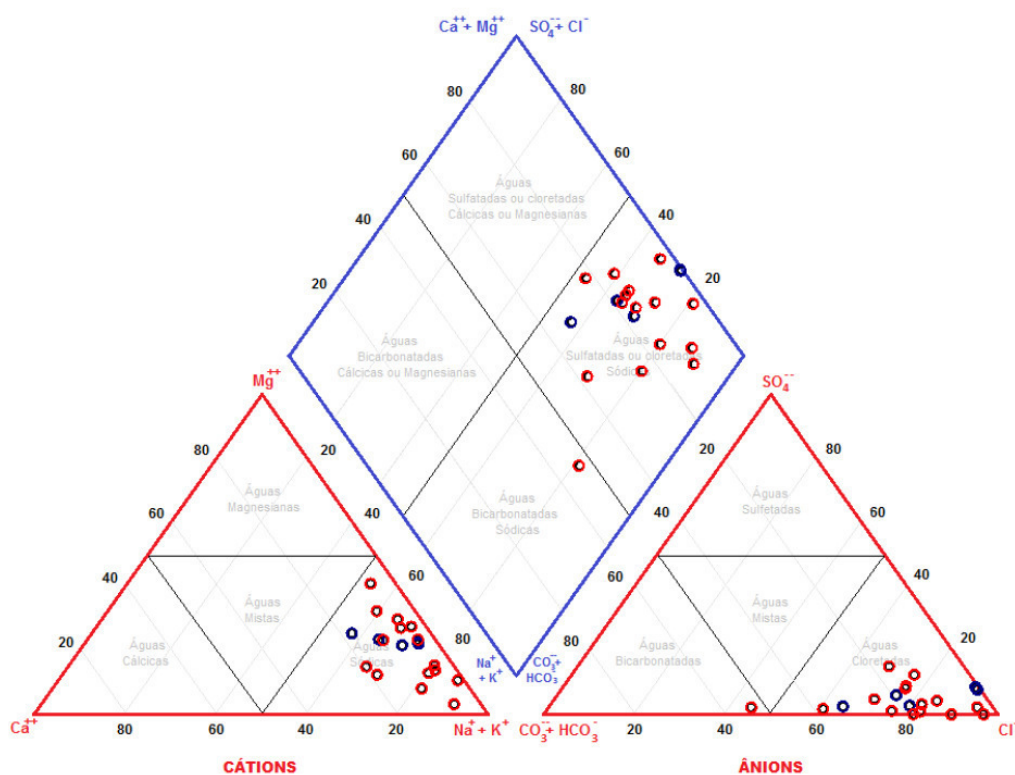
Para as amostras de água superficial o mínimo foi de 0,66% e o máximo de 8,64% já para as amostras de água subterrânea o mínimo foi de 1,62% e o máximo de 9,95%.

5.3.1 Classificação iônica das águas

Após verificar o balanço iônico, foi realizado a classificação das águas analisadas em termos do conteúdo iônico dominante, utilizando-se o Diagrama de Piper.

Segundo o diagrama de Piper (FIGURA 13), quanto aos ânions, 95% das águas analisadas são cloretadas e 5% bicarbonatadas, enquanto que 100% são consideradas sódicas quanto à abundância de cátions. Das 20 amostras de água analisadas, 19 (95%) foram classificadas como cloretadas sódicas e 1 (5%) como bicarbonatadas sódicas. Essa classificação iônica é compatível com águas localizadas em áreas próximas ao mar como é o caso dessa área de estudo.

Figura 13 – Classificação iônica de 20 amostras de águas segundo o Diagrama de Piper



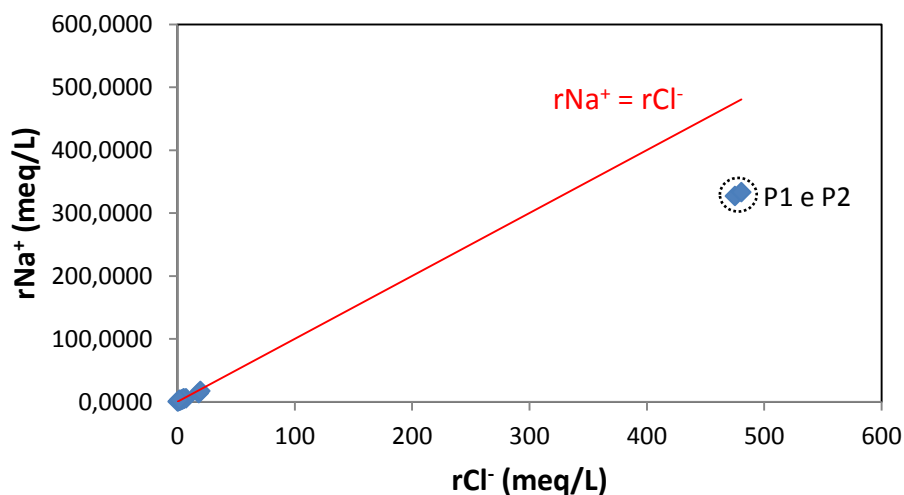
Fonte:Elaborado pelo autor através do software Qualigraf.

Legenda: ● água superficial; ● água subterrânea.

Segundo Gomes e Cavalcante (2017) a predominância de águas caracterizadas como Cloretadas Sódicas, em estudo sobre águas subterrâneas do município de Fortaleza, está relacionada às águas marinhas, aerossóis e à evaporação, que aumentam a concentração do cloreto nas águas subterrâneas, favorecida pela proximidade da área de sua pesquisa ao Oceano Atlântico, inserida na faixa costeira. As propriedades químicas do cloreto, como alta solubilidade, baixa precipitação e raio iônico influenciam na concentração desse íon.

A Figura 14 mostra o gráfico rCl^- vs. rNa^+ para as 20 amostras analisadas no qual pode-se notar que as amostras P1 e P2 que são de águas estuarinas apresentaram cloretos associados ao sódio, porém apresentam cloreto adicional, possivelmente proveniente de insumos químicos utilizados em atividades de carcinicultura presentes nas imediações desses pontos de coleta.

Figura 14 – rCl^- vs. rNa^+ para as águas das 20 amostras

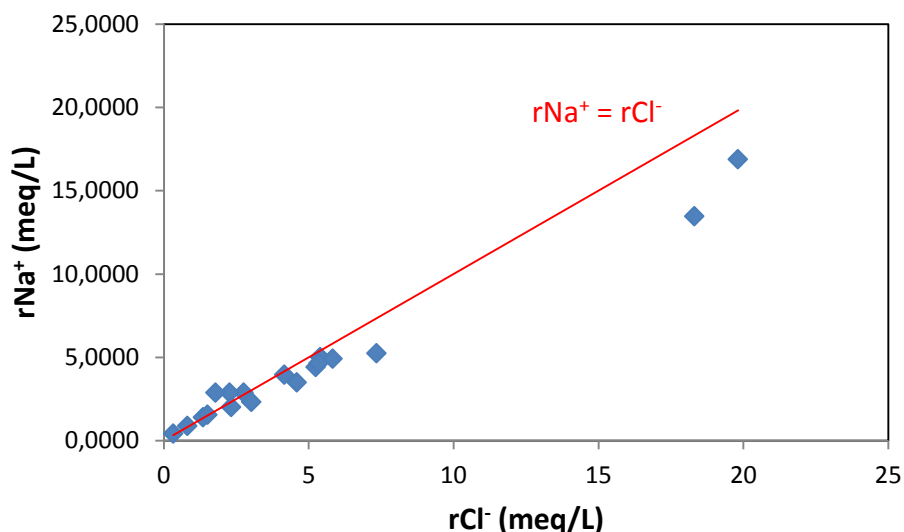


Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 15 que mostra o gráfico rCl^- vs. rNa^+ para as amostras excluindo P1 e P2, os resultados se apresentaram bem próximos da reta $rCl^- = rNa^+$ indicando que a origem do aporte desses elementos é proveniente da deposição de aerossóis marinhos.

Pereira *et al.*(2004) estudando a hidroquímica das águas subterrâneas que abastecem o município de São Luís no estado do Maranhão atribuíram a ocorrência de águas cloretadas sódicas à proximidade do mar, pois as amostras, principalmente as coletadas no período chuvoso, mostraram uma tendência à relação $rNa^+ = rCl^-$, o que indica a dissolução de aerossóis de origem marinha nas águas de recarga.

Figura 15 – rCl^- vs. rNa^+ para as águas das amostras excluindo as 2 amostras de água estuarina



Fonte: Elaborado pelo autor.

Fernandes *et al.* (2005) em estudo sobre a origem dos cloretos nas águas subterrâneas na chapada do Apodi no estado do Ceará utilizaram a reta $rNa^+ = rCl^-$ para constatar a ocorrência de cloreto de origem marinha.

Dependendo dos teores de cloreto e sódio, águas cloretadas sódicas podem apresentar restrições para a utilização na irrigação devido a problemas causados pela salinidade e sodicidade.

A salinidade em níveis altos diminui o potencial externo de água reduzindo a disponibilidade de água, o que prejudica o desenvolvimento das culturas, podendo reduzir sua produção em até 50% conforme Santana *et al.*, (2007), além de causar a obstrução dos sistemas de irrigação levando à ineficiência do sistema e elevando os custos de produção (GARCIA *et al.*, 2008). A sodicidade leva à desestruturação do solo pelo sódio e redução da infiltração, armazenamento e condutividade hidráulica (FARIA *et al.* 2008).

Segundo Meireles *et al.* (2010) águas com restrições elevadas para irrigação até podem ser utilizadas, no entanto limitando-se o uso para irrigação de plantas com tolerância moderada ou alta a sais, com práticas de controle de salinidade e exclusivamente em solos com ótima drenagem e com ausência de camadas compactadas.

5.4 Classificação das águas para irrigação

A Tabela 11 e a Figura 16 apresentam os resultados da classificação USSL das águas para fins de irrigação.

Como se pode observar na Tabela 11, as amostras P1 e P2 não foram classificadas. Isso se deve aos elevados teores de salinidade dessas amostras que são de água estuarina e que, portanto, possuem níveis intoleráveis de sais para o desenvolvimento das plantas e oferecem alto risco de salinização dos solos.

A classificação proposta por Richards (1954) foi possível para 18 amostras, que incluem três amostras do rio Curu e 15 amostras de poços da área.

Tabela 11 – Resultados da classificação USSL das águas para fins de irrigação

| Nº | Amostra | Na(mg/L) | Ca(mg/L) | Mg(mg/L) | C.E | SAR(RAS) | Classificação |
|----|---------|----------|----------|----------|-------|----------|---------------|
| 1 | P1 | 7.520,00 | 400 | 1.248,00 | 49260 | 41,7754 | - |
| 2 | P2 | 7.655,00 | 400 | 1.296,00 | 49140 | 41,857 | - |
| 3 | P3 | 120,4 | 21,6 | 25 | 1121 | 4,1827 | C3 - S1 |
| 4 | P4 | 309,5 | 32 | 51,8 | 2650 | 7,8655 | C4 - S2 |
| 5 | P5 | 101,6 | 28 | 25 | 922 | 3,3622 | C3 - S1 |
| 6 | PC1 | 65,9 | 3,2 | 7,2 | 485 | 4,6747 | C2 - S1 |
| 7 | PC2 | 53,4 | 15,2 | 7,2 | 465 | 2,8253 | C2 - S1 |
| 8 | PC3 | 31,9 | 2,4 | 8,6 | 260 | 2,1576 | C2 - S1 |
| 9 | PC4 | 20,3 | 1,6 | 1,9 | 152 | 2,5694 | C1 - S1 |
| 10 | PC5 | 115,2 | 1,6 | 7,7 | 755 | 8,3915 | C3 - S2 |
| 11 | PC6 | 65,9 | 4 | 1,4 | 408 | 7,2222 | C2 - S2 |
| 12 | PC7 | 9,4 | 2,4 | 1 | 68 | 1,286 | C0 - S1 |
| 13 | PC8 | 46,3 | 6,4 | 14,9 | 455 | 2,2913 | C2 - S1 |
| 14 | PC9 | 90,6 | 14,4 | 17,8 | 740 | 3,7717 | C2 - S1 |
| 15 | PC10 | 80 | 4 | 14,9 | 667 | 4,1223 | C2 - S1 |
| 16 | PC11 | 113 | 8,8 | 25 | 853 | 4,4002 | C3 - S1 |
| 17 | PC12 | 35,5 | 1,6 | 8,2 | 269 | 2,5145 | C2 - S1 |
| 18 | PC13 | 388 | 35,2 | 159,4 | 2973 | 6,1901 | C4 - S2 |
| 19 | PC14 | 106,9 | 5,6 | 10,1 | 700 | 6,2404 | C2 - S2 |
| 20 | PC15 | 65,9 | 8 | 3,8 | 436 | 4,8031 | C2 - S1 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

A água amostrada no poço PC7 foi classificada como C0 - S1 e por essa razão não aparece no gráfico da Figura 16 já que o gráfico não exhibe águas enquadradas nas categorias C0 e S0 para riscos de salinização e de sódio, respectivamente.

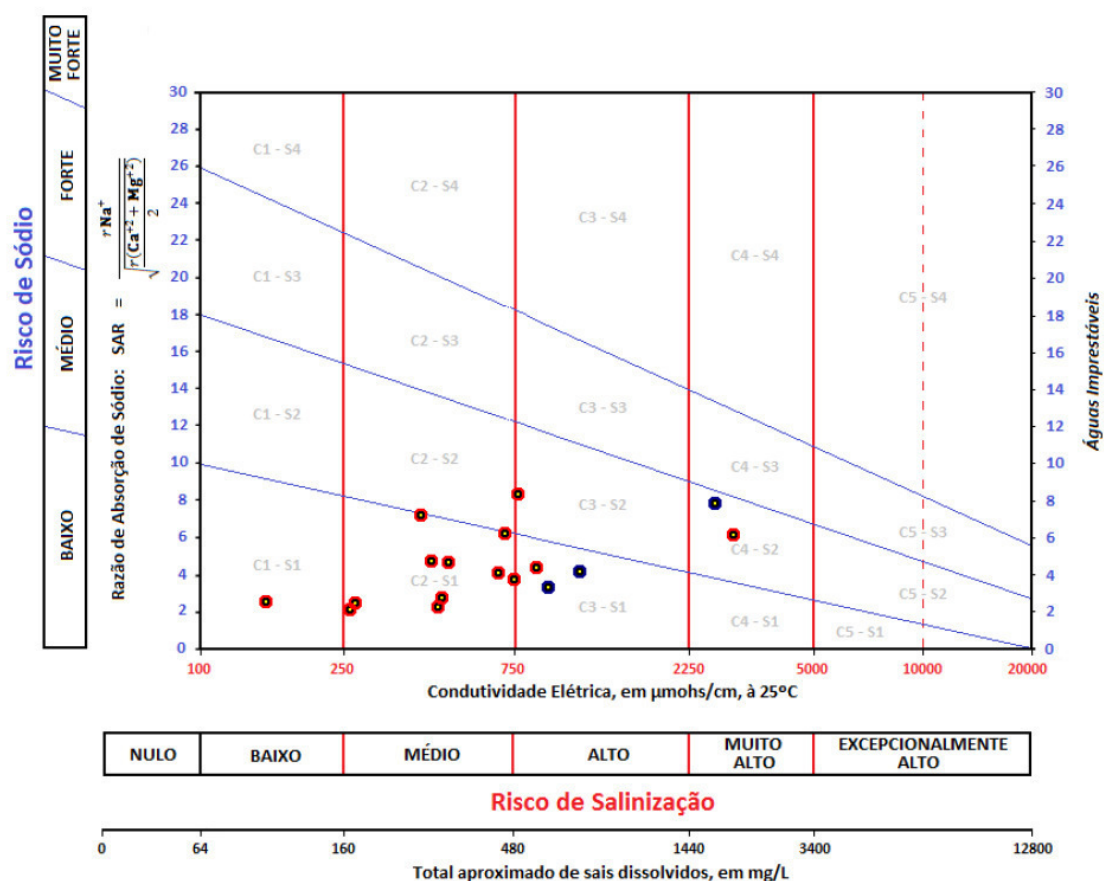
A água do poço PC7 possui condutividade elétrica muito baixa, podendo ser utilizada sem restrição para irrigação com relação à salinidade. Quanto ao risco de sódio

a água do poço PC7 pode ser utilizada para a irrigação na maioria dos solos, com pouca probabilidade de alcançar níveis perigosos de sódio trocável.

O poço PC4 apresentou água com a classificação C1 - S1, apresentando baixo Risco de Sódio, podendo ser utilizada para fins de irrigação em vários tipos de lavouras e diferentes solos. Essa água apresenta pequeno risco de salinidade, mas para solos de permeabilidade muito baixa, o fluxo hídrico fica difícil, favorecendo a retenção de cloretos e aumentando a salinidade dos solos.

Do total de amostras, 40% (8 amostras) se enquadram na classe C2 - S1, de médio risco de salinidade e baixo risco de sódio. Essas águas podem ser usadas para irrigação em numerosos tipos de solos e para cultivo de plantas com moderada tolerância aos sais.

Figura 16 – Classificação USSL das águas para fins de irrigação



Fonte: Elaborado pelo autor através do software Qualigraf.

Legenda: ● água superficial; ● água subterrânea.

Das amostras, 10% foram classificadas como C2 - S2. Essas águas apresentaram salinidade média e conteúdo médio em sódio, podendo ser usadas sempre

que houver um grau moderado de lixiviação no solo. Com relação ao risco de sódio, essas águas podem ser usadas em solos de textura grossa ou em solos orgânicos de boa permeabilidade. Para o cultivo de plantas com moderada tolerância aos sais, na maioria dos casos, não haverá necessidade de práticas especiais de controle de salinidade.

Das 20 amostras analisadas, 15% foram enquadradas na classificação C3 - S1, caracterizadas como águas de salinidade alta, não podendo ser usadas em solos com drenagem deficiente. Para esta classificação, práticas especiais de controle da salinidade podem ser necessárias até para solos com drenagem adequada. A utilização dessa água para irrigação deve ser restrita a espécies vegetais muito tolerantes a sais. As águas dessas amostras possuem baixo risco de sódio.

Na classificação C3 - S2 se enquadraram 5% das amostras. Águas com essa classificação apresentam alto risco de salinidade e médio risco de sódio, só devendo serem usadas para irrigação em solos bem drenados e em cultivo de plantas que apresentem boa tolerância à salinidade.

As amostras P4 e PC13 apresentaram as águas menos apropriadas para irrigação da área de estudo e foram enquadradas na classificação C4 - S2, apresentando águas com salinidade muito alta e conteúdo médio em sódio. Essa classificação indica que estas águas não são apropriadas para irrigação, no entanto podem ser utilizadas ocasionalmente em circunstâncias muito especiais. Nesse caso os solos devem ter boa permeabilidade e drenagem adequada, sendo exigida a aplicação de excesso de água para alcançar uma boa lixiviação, além dos cultivos serem de plantas altamente tolerantes aos sais. Com relação ao sódio, em solos de textura fina esse elemento representará um perigo considerável e por isso essas águas deverão ser utilizadas em solos de textura grossa ou em solos orgânicos de boa permeabilidade (ALMEIDA, 2010).

Na área dos pontos P4 E PC 13 há a predominância de solos com boa drenagem (FIGURA 5) o que indica que a água pode ser eventualmente, utilizada para a irrigação de culturas tolerantes à salinidade, porém devido a o alto grau de salinidade essa água pode ocasionar problemas graves aos sistemas de irrigação.

No que se refere à qualidade das águas coletadas para a irrigação observa-se a predominância de águas subterrâneas de boa qualidade para fins de irrigação, principalmente dentro do perímetro irrigado Curu-Paraipaba, que tem como atividade agrícola principal a cultura do coco.

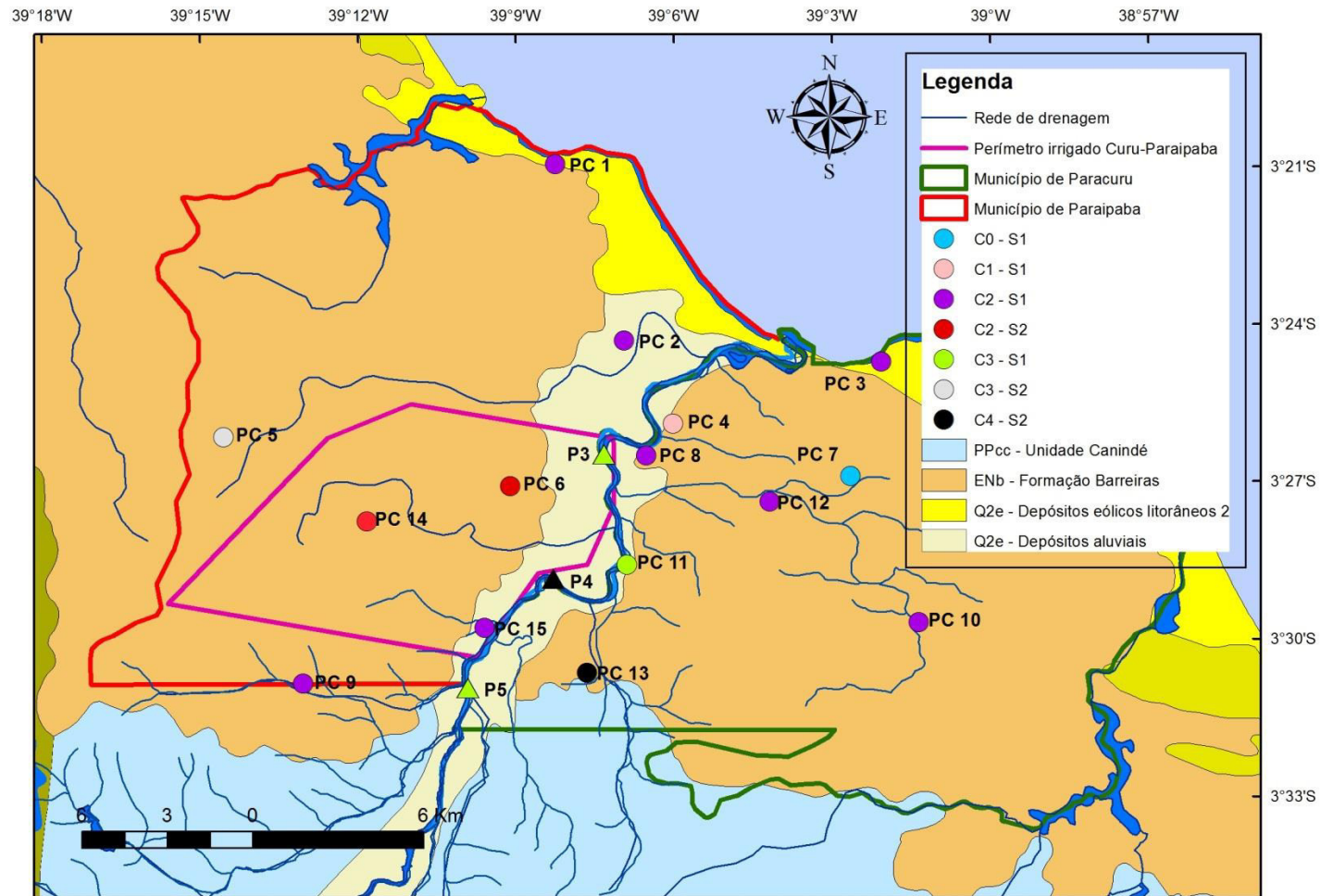
O coqueiro possui elevada tolerância aos sais, como é observado em cultivos existentes em áreas de comprovada salinidade, como por exemplo, na orla marítima. Estudos realizados por Silva Júnior (1994) mostraram que o cultivo de coco pode ser irrigado com água salobra, em áreas de solos arenosos e com restrita disponibilidade de água de boa qualidade, podendo evitar a perda do cultivo durante as fases jovem e adulta.

Pomier e Brunin (1974), estudando o efeito da irrigação com água de salinidade igual à metade da água do mar, observou um aumento significativo da produção de coco, em relação ao cultivo de sequeiro, em um coqueiral cultivado em solo com predominância de areia grossa.

Nascimento (2008) estudou o impacto da qualidade da água na cultura do coqueiro Anão e percebeu que o mesmo é bastante resistente a sais. Ele concluiu que esse tipo de cultura pode ser irrigada com águas de alta salinidade, mas em solos de textura arenosa e em regiões de elevadas precipitações pluviométricas. Nessas condições, os níveis salinos dos solos poderão ser inferiores aos das águas de irrigação. Marinho (2006) também corroborou que o cultivo de coco com águas salinas é possível se a condutividade elétrica for até 10 dS/m.

As águas subterrâneas coletadas dentro do perímetro irrigado Curu-Paraipaba (amostras PC6, PC9, PC14 e PC15) foram classificadas como C2-S1 e C2-S2, podendo ser consideradas de boa qualidade para o cultivo do coco, que é predominante nessa área, que possui solos de textura franco-arenosa e predominantemente da classe dos Latossolos, geralmente bem drenados e favoráveis à lixiviação dos sais (EMBRAPA, 2006). A Figura 17 ilustra a distribuição espacial da classificação USSL das águas para fins de irrigação.

Figura 17 – Distribuição espacial da classificação USSL das águas para fins de irrigação



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.5 Qualidade das águas para consumo humano

5.5.1 Condutividade elétrica – C.E

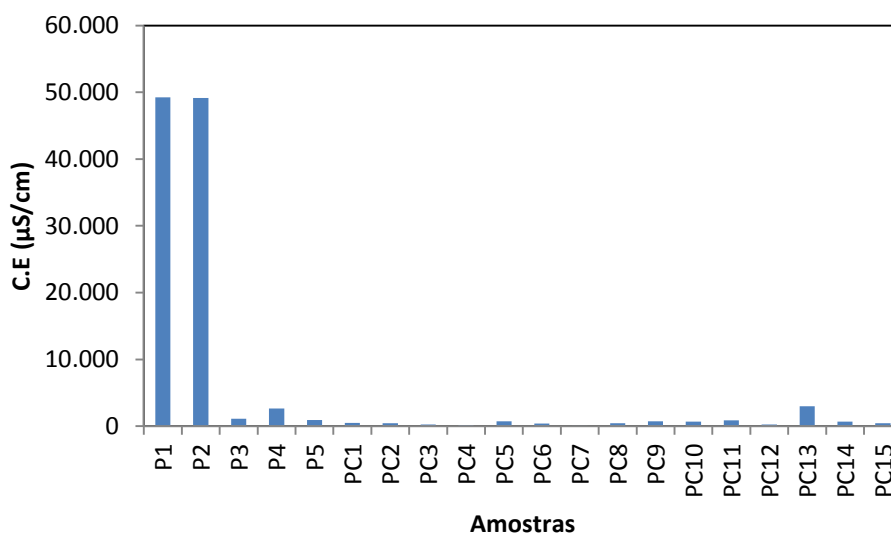
Os valores de condutividade elétrica nas amostras P1 e P2 destacaram-se das demais, como mostra a Figura 18, devido os resultados nesses pontos estarem próximos dos valores encontrados em água do mar, já que são amostras retiradas do estuário do rio Curu.

Como os valores das amostras P1 e P2 foram bem maiores que as outras amostras, um segundo gráfico foi construído sem essas duas amostras de águas estuarinas, para facilitar a visualização da diferença de valores de condutividade elétrica entre as amostras de águas de outras amostras.

A Figura 18 mostra as 20 amostras analisadas e a direita a Figura 19 destaca as 18 amostras, sem as duas amostras do estuário (P1 e P2).

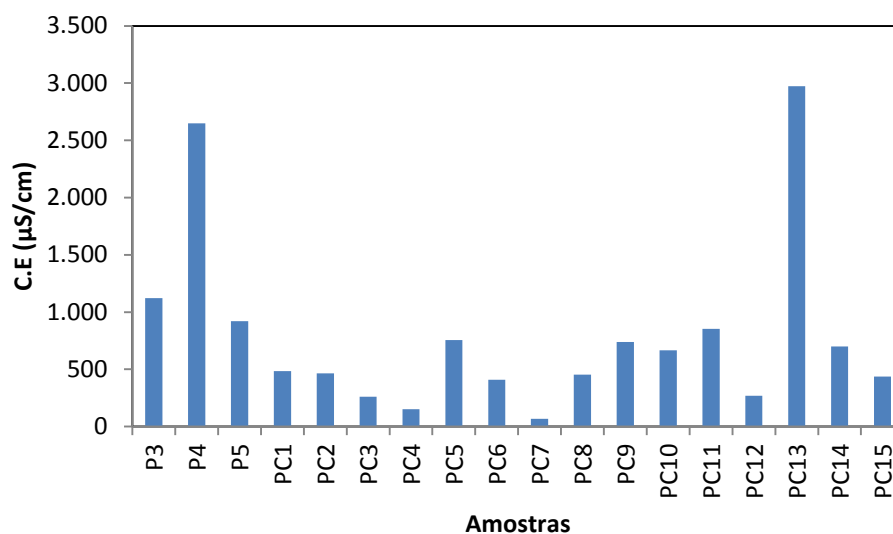
A Figura 19 mostra os valores sem a presença das águas estuarinas, onde observa-se que duas amostras se destacam, a P4 (água superficial) e a PC13 (água subterrânea).

Figura 18 – Condutividade elétrica das águas analisadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 19 – Condutividade elétrica das águas analisadas (Água doce)



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.5.2 Dureza

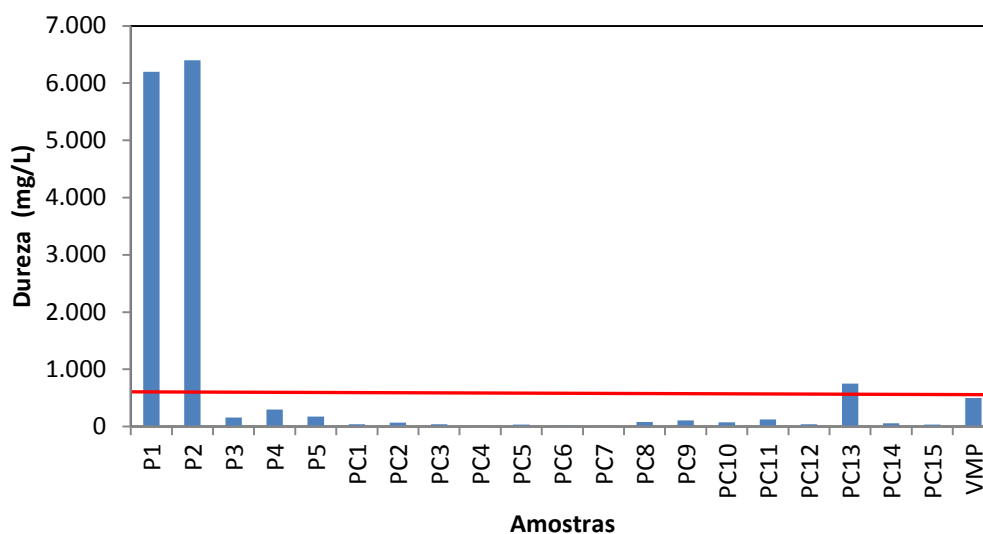
Das amostras analisadas 15% (3 amostras) apresentaram valor acima do máximo permitido de acordo com a Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) que é de 500 mg/L.

As amostras P1 e P2 (FIGURA 20) que se localizam no estuário do rio Curu apresentaram valores muito acima do permitido, variando de 6.400 mg/L a 6.200 mg/L.

Outra amostra com valor analisado acima do máximo permitido foi do poço PC13 (sem informação da profundidade) que atingiu 752 mg/L (FIGURA 21). Segundo Gomes (2013) a dureza nas águas subterrâneas é uma propriedade que provoca incrustações nas tubulações, causando sérios problemas ao sistema de abastecimento, além de dificultar o cozimento dos alimentos.

Em geral, os sais em solução nas águas, Carbonato de Cálcio (CaCO_3), Dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), Magnesita (MgCO_3) e/ ou Sulfato de Cálcio (CaSO_4) são os quais, em geral, definem sua dureza (GOMES, 2013).

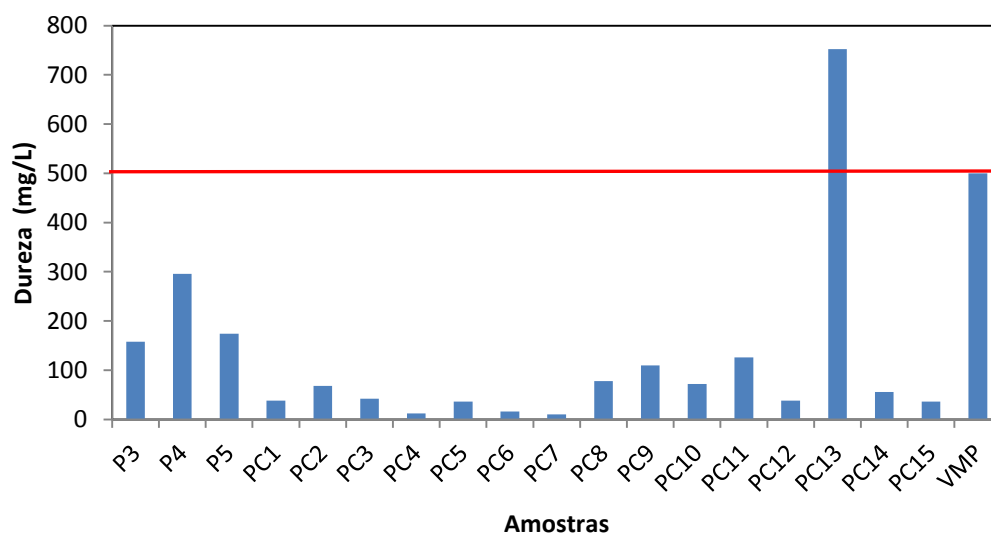
Figura 20 – Concentrações de dureza total nas águas analisadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Linha vermelha: Valor máximo permitido pela portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

Figura 21 – Concentrações de dureza total nas águas analisadas (Água doce)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Linha vermelha: Valor máximo permitido pela portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

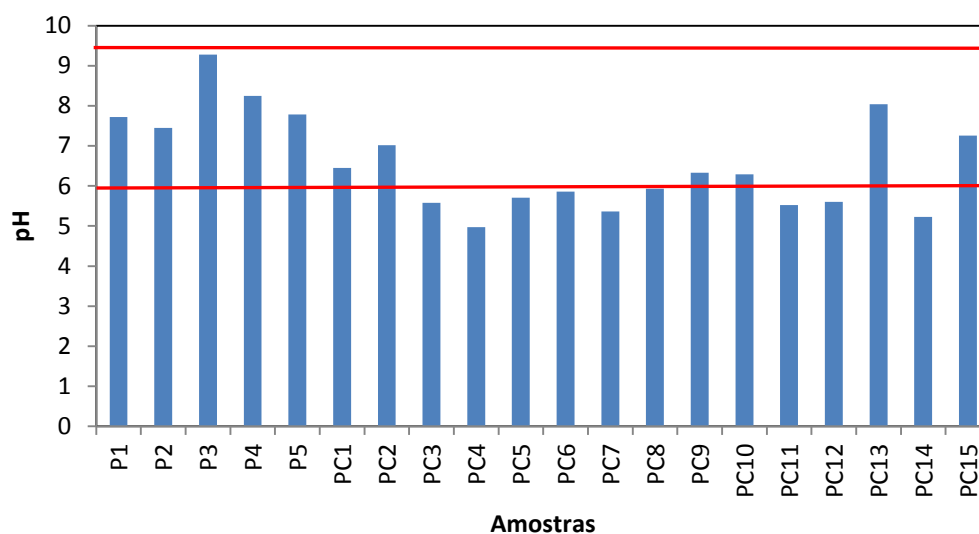
5.5.3 pH

Águas de pH baixo tendem a ser corrosivas ou agressivas a determinados materiais, enquanto que as águas de alto pH tendem a formar incrustações. Para a saúde humana águas ácidas podem causar doenças como gastrite e câncer gástrico, já para a indústria o pH baixo traz restrições nos seus usos gerais (GOMES, 2013).

Segundo a Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) a faixa de valores de pH de água para o consumo humano é de 6,0 a 9,5. Das 20 amostras analisadas 9 amostras (45%) ficaram fora do padrão para potabilidade, pois apresentaram o pH inferior a 6,0 (FIGURA 22).

Segundo Hounslow (1995), isso ocorre devido a quantidade significativa de minerais de argila, que dissolve e libera sílica e alumínio em concentrações relativamente altas para a água. As águas poluídas geralmente são mais ácidas.

Figura 22 – Valores de pH nas águas analisadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Linha vermelha: Valor máximo permitido pela portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

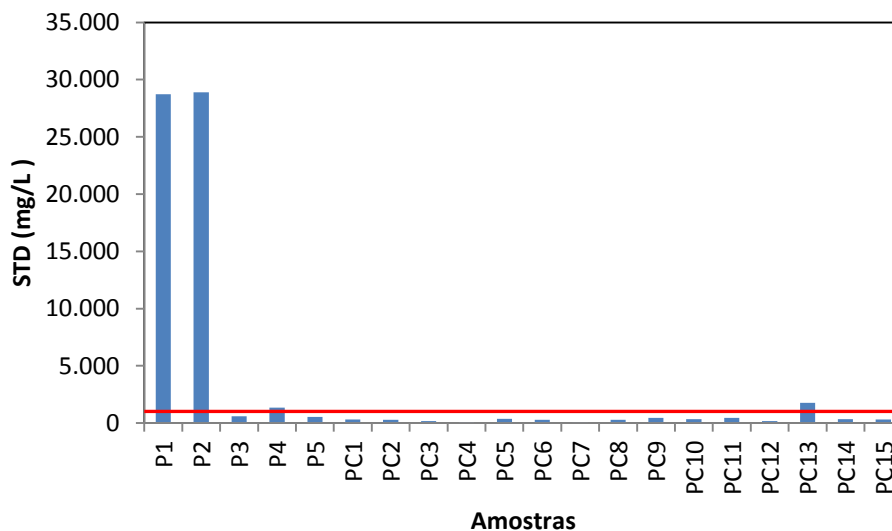
5.5.4 Sólidos totais dissolvidos – STD

O valor máximo permitido para Sólidos Totais Dissolvidos é de 1.000 mg/L, segundo a Portaria N° 2914/2011 do Ministério da saúde (BRASIL, 2011). Das amostras analisadas 20% (4 amostras) apresentaram valor maior que o permitido, as amostras de água estuarina (P1 e P2) e duas amostras de água doce (P4 - superficial e PC13 - subterrânea) (FIGURA 23).

Conforme indica Rebouças (2006) a classificação mundial das águas estabelece como água doce, as águas que apresentam concentração de Sólidos Totais Dissolvidos abaixo de 1.000 mg/L, como salobra, as que apresentam STD entre 1.000 mg/L e 10.000 mg/L e como salgadas, as com teores de STD superiores a 10.000 mg/L (). Águas com STD superiores a 35.000 mg/L são consideradas Salmouras (ex: águas

marinhas). Portanto segundo a classificação mundial das águas as amostras P1 e P2 são classificadas como salgadas e das amostras P4 e PC13 como salobras (FIGURA 24).

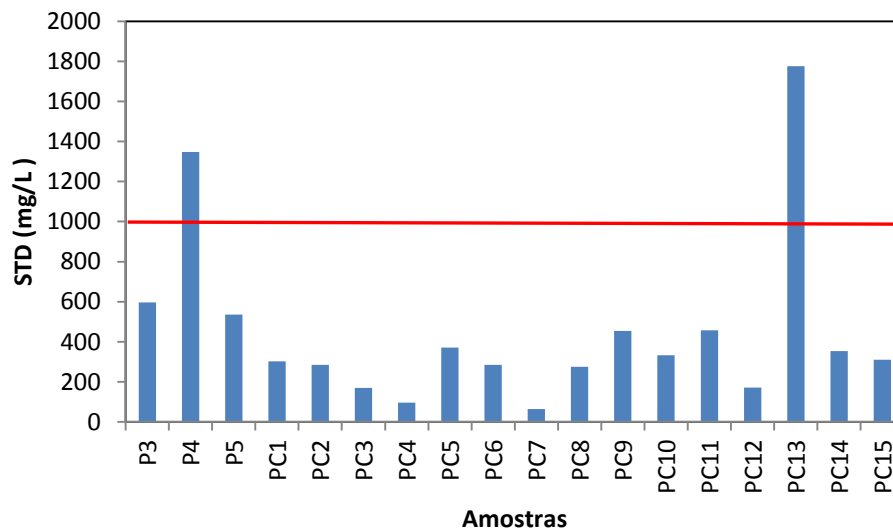
Figura 23 – Concentrações de sólidos totais dissolvidos nas águas analisadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Linha vermelha: Valor máximo permitido pela portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

Figura 24 – Concentrações de sólidos totais dissolvidos nas águas analisadas (Água doce)



Fonte: Elaborado pelo autor.

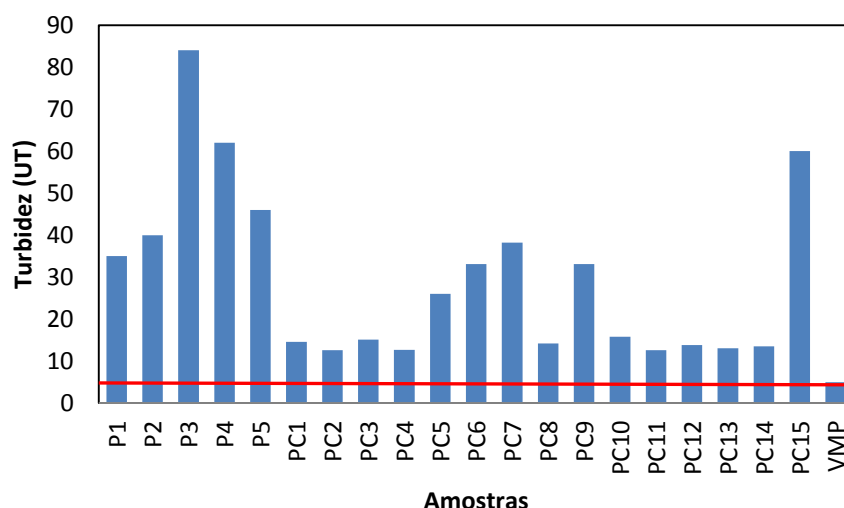
Linha vermelha: Valor máximo permitido pela portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

5.5.5 Turbidez

Os valores resultantes das análises de turbidez apresentaram-se, para todas as amostras analisadas, acima do valor máximo permitido de 5,0 UT, estabelecido pela Portaria N° 2914/2011 do Ministério da saúde (BRASIL, 2011), variando de 12,6 UT a 84 UT (FIGURA 25).

Isso se deve, provavelmente, ao baixo mecanismo de diluição nas amostras coletadas durante o final do período de estiagem, e/ou também à ausência de proteção sanitária dos poços, o que permite a entrada de impurezas, aumentando a turbidez das águas.

Figura 25 – Concentrações de turbidez nas águas analisadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Linha vermelha: Valor máximo permitido pela portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

5.5.6 Cálcio, Magnésio e Potássio

A Portaria N° 2.914/2011 do Ministério da saúde (BRASIL, 2011) não determina um valor máximo permitido para concentrações dos íons cálcio, magnésio e potássio.

Os valores de cálcio, magnésio e potássio para as amostras P1 e P2 (águas estuarinas) destacaram-se muito das demais amostras, como se pode verificar nas Figuras 26, 28 e 30.

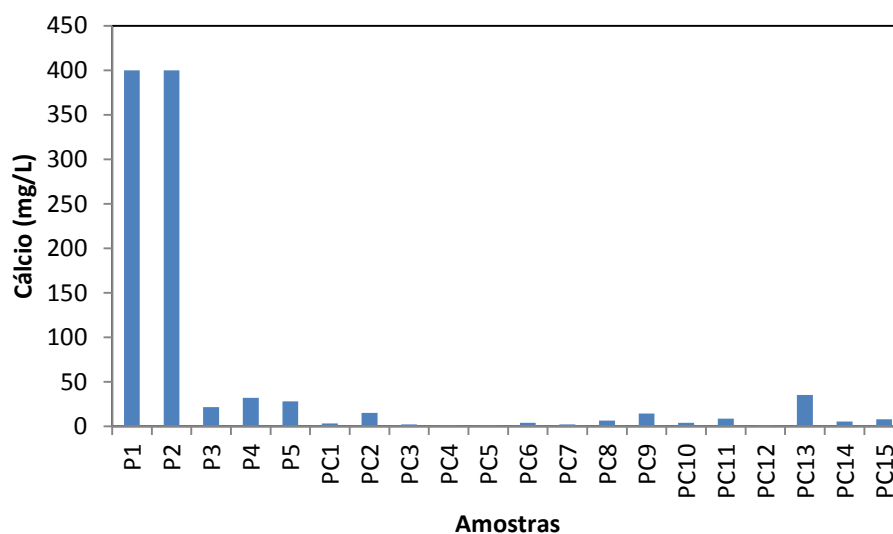
Para as amostras de água doce, os valores de cálcio variaram de 1,6 mg/L a 35,2 mg/L (FIGURA 27), já os valores de magnésio ficaram entre 1 mg/L e 159,4 mg/L (FIGURA 29) e para o potássio os valores variaram de 1,6 mg/L a 11,4 mg/L (FIGURA 31).

O potássio tem a tendência de estar sempre presente nos sedimentos argilosos em proporções maiores do que nas rochas ígneas. O cálcio é abundante na maioria das águas e rochas, enquanto o magnésio é muito raro nas águas subterrâneas devido a sua escassez geoquímica (SANTOS *et al.*, 2008).

Os três atributos são importantes e utilizados na agricultura, o cálcio pode ser encontrado em produtos utilizados para a correção de solos agricultáveis, o magnésio é um dos principais componentes da clorofila e o potássio é comumente adicionado ao solo como fertilizante (FEITOSA *et al.*, 2008).

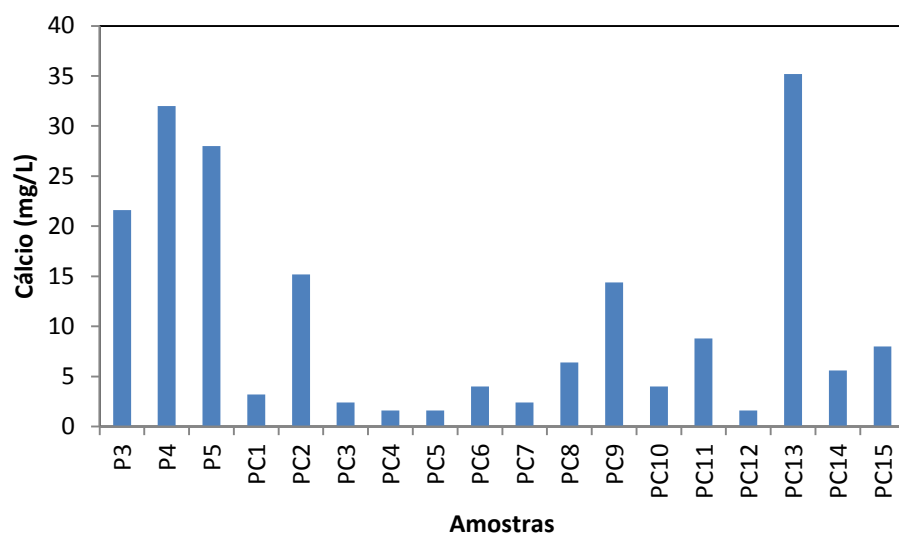
Palácio *et al.* (2009) em estudo da qualidade das águas superficiais na bacia do rio Curu observaram que a drenagem e lavagem dos solos do perímetro irrigado Curu-Paraipaba, que fica logo a montante de um dos pontos de coleta do estudo, causaram a contaminação localizada de potássio, devido ao fato desse perímetro ter como sua principal cultura o coco, que utiliza fertilizantes com base no cloreto de potássio. Elmi *et al.* (2004) também afirmaram que a presença do potássio em águas superficiais pode ter sua origem em fertilizantes químicos.

Figura 26 – Concentrações de cálcio nas águas analisadas



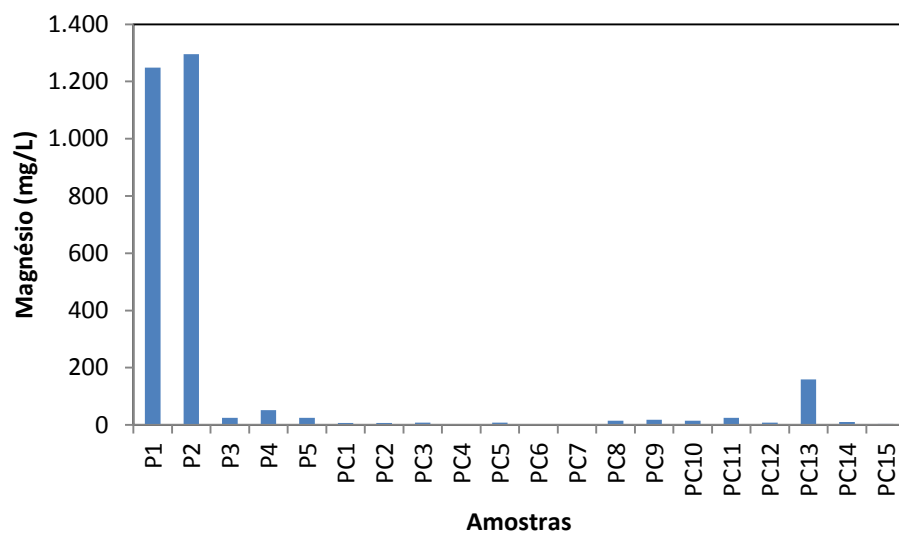
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 27 – Concentrações de cálcio nas águas analisadas (Água doce)



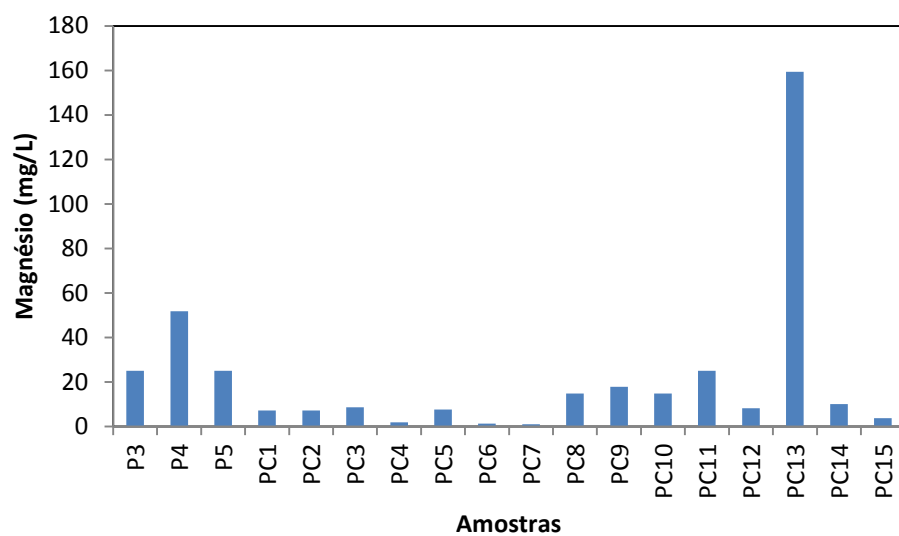
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 28 – Concentrações de magnésio nas águas analisadas



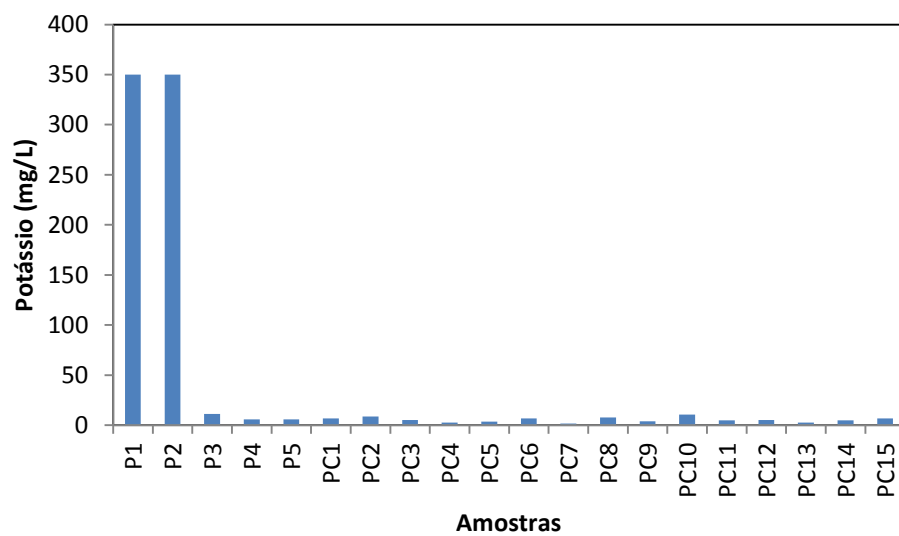
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 29 – Concentrações de magnésio nas águas analisadas (Água doce)



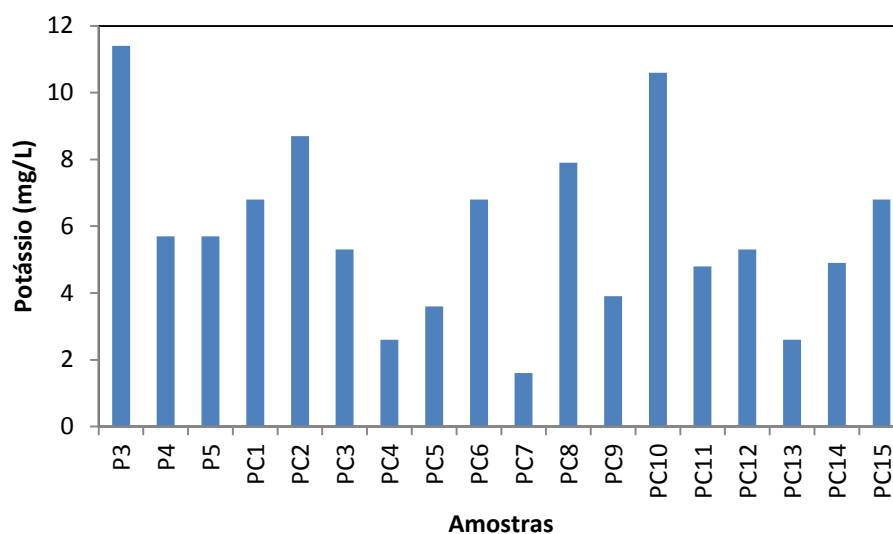
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 30 – Concentrações de potássio nas águas analisada



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 31 – Concentrações de potássio nas águas analisadas (Água doce)



Fonte: Elaborado pelo autor.

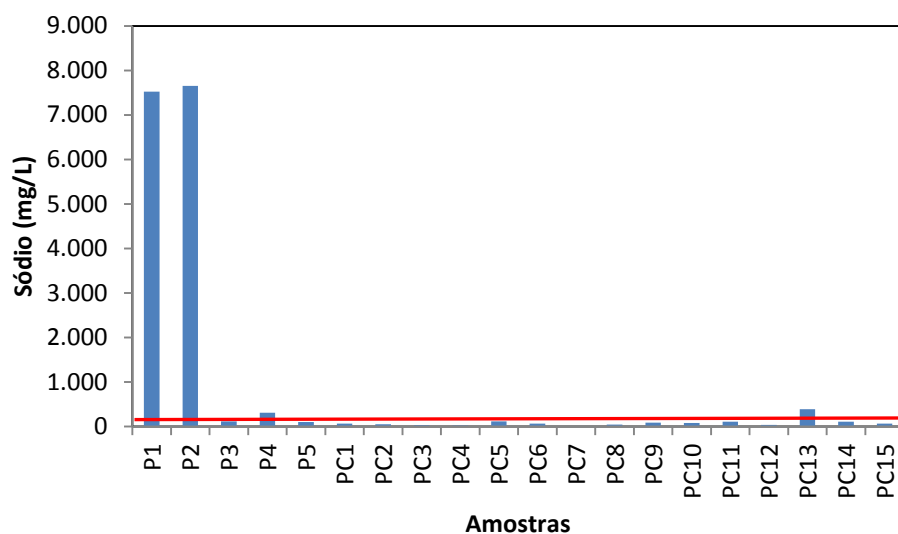
5.5.7 Sódio

O sódio é o um dos principais determinantes do aumento gradativo da salinidade das águas naturais do ponto de vista catiônico (FEITOSA *et al.*, 2008). A Portaria N° 2914/2011 do Ministério da saúde (BRASIL, 2011) estabelece 200 mg/L como valor máximo permitido para sódio. De 20 amostras analisadas, 4 amostras (20%) apresentaram valores maiores que o permitido pela portaria vigente, sendo duas amostras de água estuarina (P1 e P2) e duas amostras de água doce (P4 – superficial e PC13 - subterrânea) (FIGURAS 32 e 33).

Gorayeb (2004) em estudo na bacia do rio Curu atribuiu às ações antrópicas, como a existência de lixões e outros focos de poluição próximos dos afluentes dos principais tributários do rio Curu, como uma das causas do possível aumento na concentração de sódio nas suas águas.

Na área de estudo foi identificada a presença de um lixão e de comunidades sem saneamento sanitário adequado o que pode ter influenciado em teores mais elevados de sódio como em P4 e PC13, além do aporte de sódio através da contribuição das águas marinhas, que é muito significativo já que a área de estudo se localiza em área costeira.

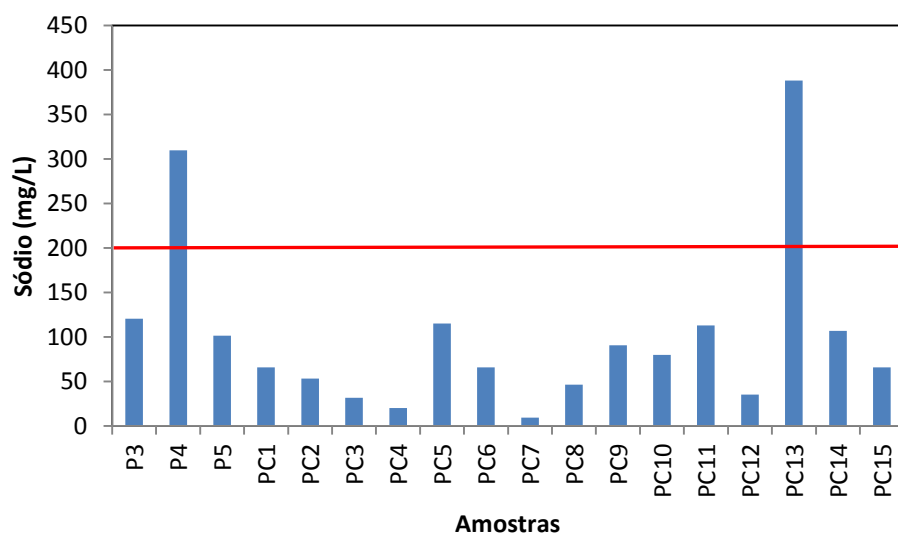
Figura 32 – Concentrações de sódio nas águas analisadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Linha vermelha: Valor máximo permitido pela portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

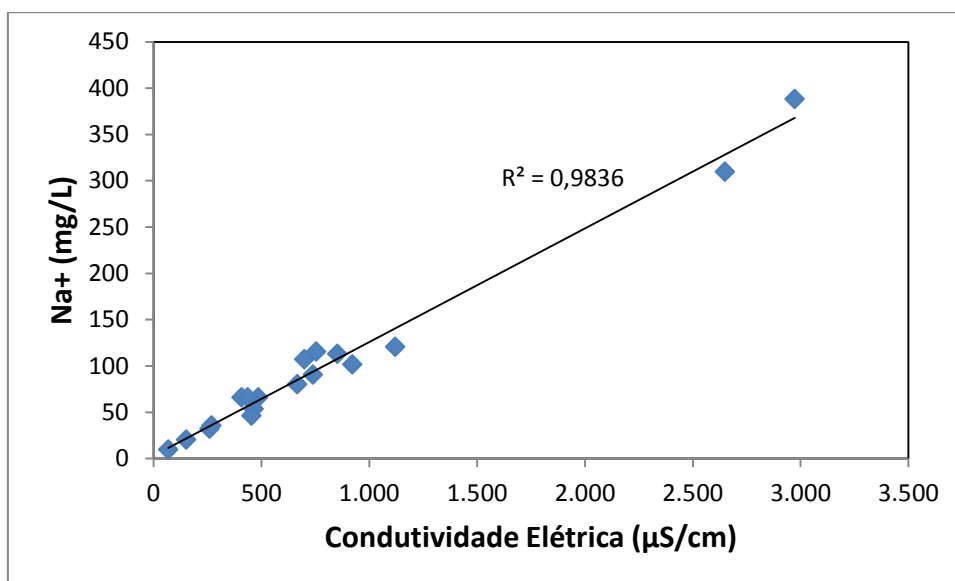
Figura 33 – Concentrações de sódio nas águas analisadas (Água doce)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Linha vermelha: Valor máximo permitido pela portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

A Figura 34 apresenta o gráfico, que relaciona sódio e condutividade elétrica para as 18 amostras de água doce, através do qual se pode observar que o sódio apresenta boa correlação com a condutividade elétrica ($R^2 = 0,9836$), indicando que o processo de salinização na área esta ligado à concentração desse elemento na área, que é influenciada pelos aerossóis de origem marinha (NaCl).

Figura 34 – Na⁺ vs. C.E para as amostras de água doce

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.5.8 Cloretos

O valor máximo permitido para Cloreto conforme a Portaria N° 2914/2011 do Ministério da saúde (BRASIL, 2011) é de 250 mg/L. Cinco amostras apresentaram valores maiores que o permitido, representando 25% do total de amostras (P1 e P2 - águas estuarinas, P3 e P4 - águas do rio e PC13 - água subterrânea) (FIGURAS 35 e 36). A amostra PC13 apresentou concentração de 702,5 mg/L, teor acima dos valores das amostras do rio.

Segundo Gomes (2013) apud Cavalcante (1998), as origens desse elemento podem estar vinculadas à influência das águas marinhas sobre as continentais, particularmente localizada em zona litorânea, à captação das águas subterrâneas no meio cristalino ou a fontes de poluições que favorecem o aumento da concentração do mesmo nas águas subterrâneas.

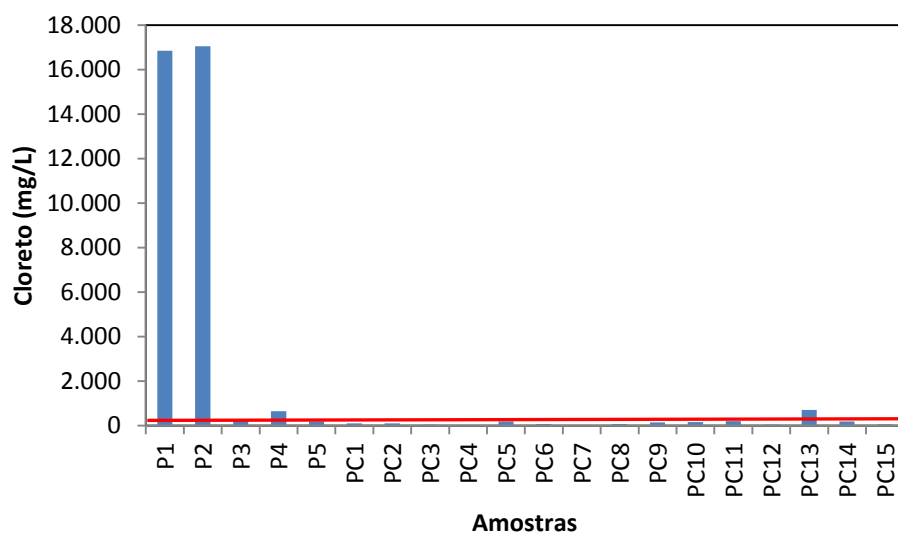
O íon cloreto altera o equilíbrio do sistema, potencializa a corrosão em tubulações e altera a potabilidade da água. Conforme afirma Pereira *et al.* (2008) o cloro forma compostos muito solúveis e tende a se enriquecer, juntamente com o sódio, a partir das zonas de recarga das águas subterrâneas. Teores anômalos para esse atributo são indicadores de contaminação por água do mar, ou por aterros sanitários.

Helena *et al.* (2000) estudando águas aluvionais do rio Pisuerga, na Espanha, verificaram que o enriquecimento em cloreto estava associado à contribuição de esgotos residenciais e industriais.

Andrade *et al.* (2009) também verificaram que a poluição antrópica faz com que aumente a concentração de cloreto nas águas subterrâneas. Neste contexto, Palácio (2004) em estudo na bacia do Rio Trussu, identificou como fonte de cloreto as lavagens de roupa e os esgotos domésticos.

A área de estudo fica em zona costeira e a proximidade do mar é uma fonte importante desse íon nas águas estudadas dessa região, assim como Gomes e Cavalcante (2017) concluiu em estudo da qualidade da água subterrânea no município de Fortaleza.

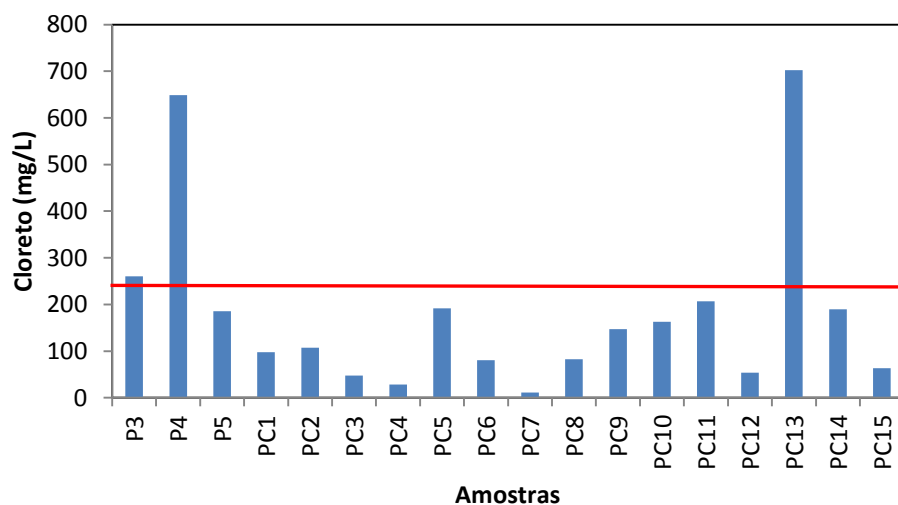
Figura 35 – Concentrações de cloreto nas águas analisadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Linha vermelha: Valor máximo permitido pela portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

Figura 36 – Concentrações de cloreto nas águas analisadas (Água doce)

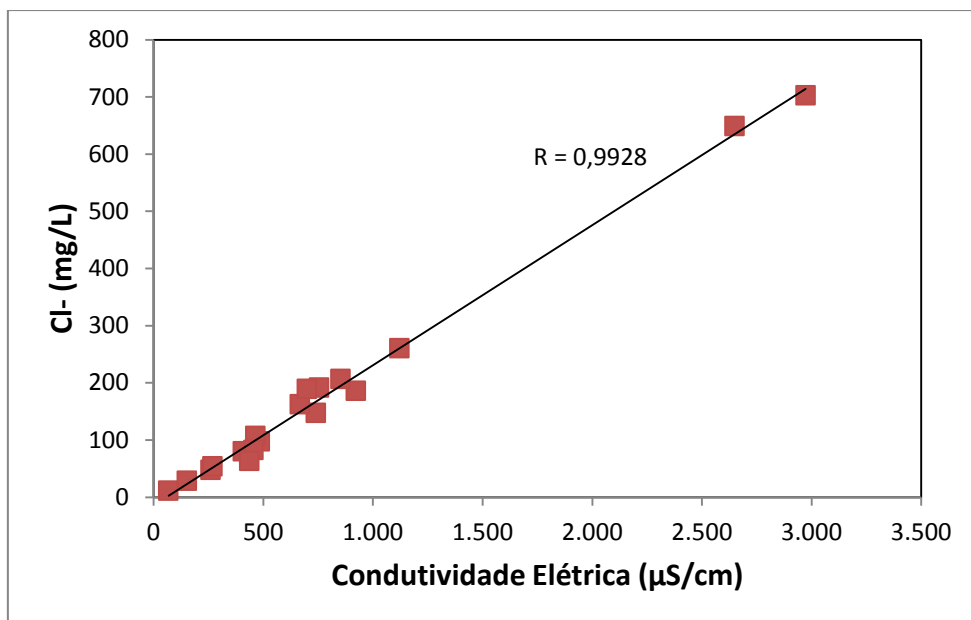


Fonte: Elaborado pelo autor.

Linha vermelha: Valor máximo permitido pela portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

O processo de salinização na área está relacionado com a concentração de cloreto na área, que se confirma pela boa correlação entre cloreto e condutividade elétrica ($R^2 = 0,9928$) (FIGURA 37).

Figura 37 – Cl⁻ vs. C.E para as amostras de água doce



Fonte: Elaborado pelo autor.

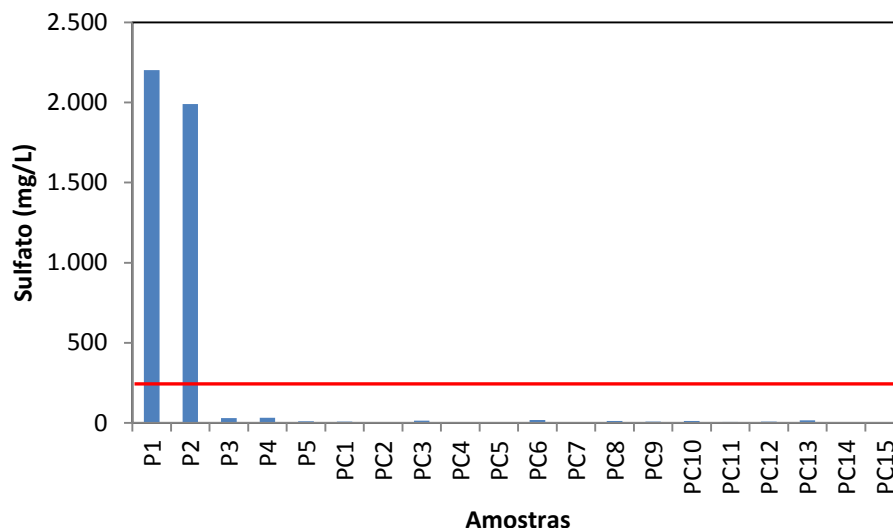
5.5.9 Sulfatos

Segundo Arruda *et al.* (2012), concentrações de sulfato em águas de abastecimento público podem provocar efeitos laxativos e conferir sabor desagradável à água. A presença do sulfato em águas superficiais pode ter sua origem em fertilizantes químicos (ANDRADE *et al.*, 2007 apud ELMÍ *et al.*, 2004).

A Portaria Nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde estabelece 250 mg/L de sulfato como valor máximo permitido para águas usadas para o consumo humano. Apenas as amostras P1 e P2, que são de água estuarina, apresentaram teor de sulfato muito acima do máximo permitido, que pode ser devido à utilização de fertilizantes químicos como o sulfato de potássio em áreas de carcinicultura intensa presente na região desses pontos de coleta. Todas as outras amostras de água tanto do rio como dos poços ficaram dentro do limite para potabilidade (FIGURA 38), variando de 0,5 mg/L (Poços com profundidades que variam de 36m a 85m) e 18,3 mg/L (Poço com profundidade de 48m).

Segundo Santiago *et al.* (2007), as menores concentrações estão em águas de chuva e águas superficiais sujeitas à redução de sulfato. As maiores concentrações estão em salmouras de sulfato de magnésio.

Figura 38 – Concentrações de sulfato nas águas analisadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Linha vermelha: Valor máximo permitido pela portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

5.5.10 Bicarbonatos

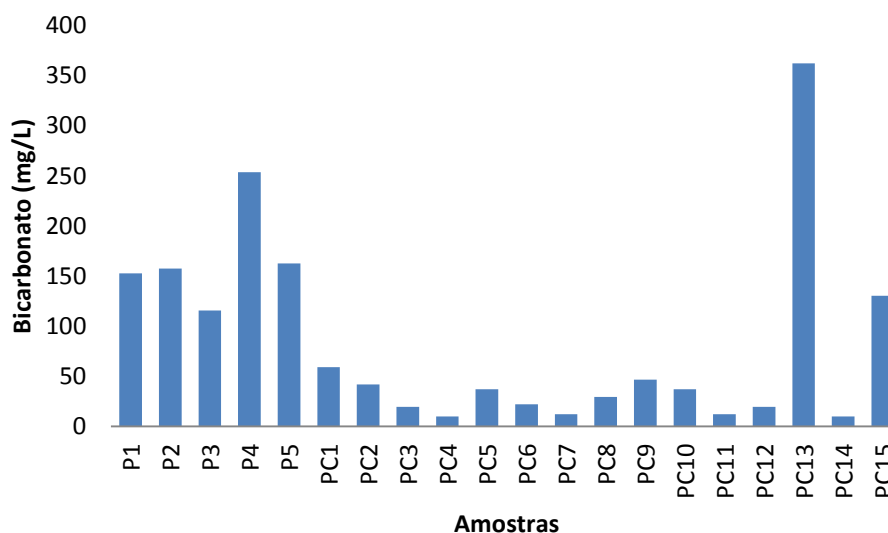
O bicarbonato tem caráter básico e é derivado de um ácido fraco. Nos ambientes naturais como em corpos d'água ele se encontra em equilíbrio com carbonatos e CO_2 , e são formados principalmente a partir das águas pluviais, que contêm H_2CO_3 diluído, que por sua vez é formado a partir do CO_2 existente na atmosfera. Em outras circunstâncias podem ser produzidos a partir da alteração de litologias carbonáticas (ARRUDA *et al.*, 2012).

As amostras analisadas apresentaram teores de bicarbonato que variaram de 9,9 mg/L (PC4 sem informação de profundidade e PC14 com 45 m de profundidade) a 362,3 mg/L (PC13 sem informação da profundidade). As amostras P4 e PC13 apresentaram valores que se destacaram dos demais, sendo 253,8 mg/L para a amostra P4 (FIGURA 39).

De acordo Silva e Bonotto (2006), as águas com elevadas concentrações de bicarbonato tem a tendência de precipitar o cálcio e o magnésio sob a forma de carbonatos reduzindo, então, a concentração destes elementos na solução do solo e,

consequentemente, aumentando a proporção de sódio. Os menores valores de bicarbonato indicam áreas de recarga e crescem de acordo com o sentido do fluxo subterrâneo.

Figura 39 – Concentrações de bicarbonato nas águas analisadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.5.11 Nitratos

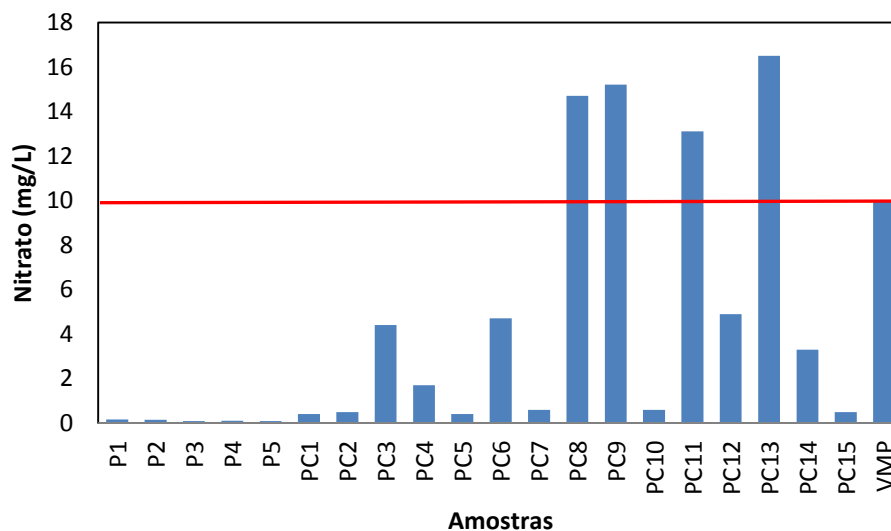
As águas de 80% das amostras analisadas na área de estudo apresentaram valores de nitrato em conformidade com a Portaria Nº 2.914/2011 do ministério da saúde (BRASIL, 2011). As amostras dos poços PC8 (33 m de profundidade), PC9 (60 m de profundidade), PC11 (85 m de profundidade) e PC13 (sem informação de profundidade), que correspondem a 20% das amostras analisadas, estão acima do máximo permitido que é de 10 mg/L de N-NO₃ (FIGURA 40), variando entre 0,09 mg/L (P3 e P5) e 16,5 mg/L (PC13).

Em termos geoquímicos, esse íon não é proveniente de processos geológicos, e sim de atividades antrópicas (GOMES, 2013), pois, segundo Feitosa *et al.* (2008), geralmente os teores de nitrato nas águas subterrâneas naturais estão entre 0,1 e 10 mg/L.

Fatores como a interação de águas superficiais poluídas por efluentes líquidos de esgotos domésticos e indústrias, assim como a existência de fossas negras perto de poços, a ausência de saneamento básico e o nível estático raso de poços, como

foi identificados na área de estudo, influenciam nos valores elevados para teores de nitrato em águas, o que pode causar problemas graves de saúde (PEREIRA *et al.*, 2008).

Figura 40 – Concentrações de nitrato nas águas analisadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Linha vermelha: Valor máximo permitido pela portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

Elmi *et al.* (2004) chamam atenção para a possibilidade da presença do nitrato em águas superficiais e subterrâneas terem sua origem em fertilizantes orgânicos utilizados em áreas agrícolas e também na proximidade de rios e poços de fossas sépticas, lagoas de tratamento de esgoto e em comunidades sem saneamento básico, como também apresentam outros autores (ANDRADE *et al.*, 2010; VARNIER; HIRATA, 2002; AQUINO *et al.*, 2008; ANDRADE *et al.*, 2009).

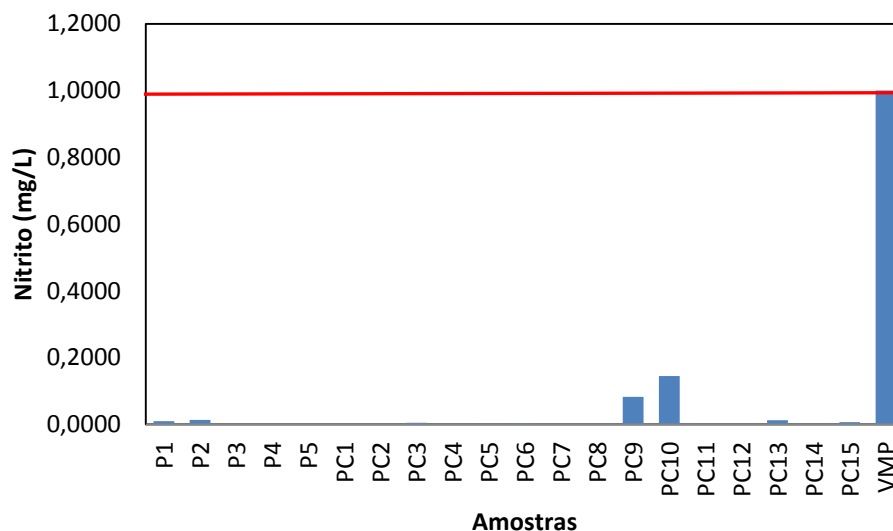
Palácio (2004) em estudo analisando água superficial define o nitrato como indicador de contaminação proveniente de atividades agropecuárias. A área de estudo que tem como atividade a agropecuária contém um perímetro irrigado (Curu-Paraipaba) que margeia o rio Curu, porém nenhuma amostra de água superficial, incluindo as amostras de água estuarina, apresentou teor alto de nitrato.

5.5.12 Nitritos

O nitrito é produzido por bactérias e corresponde à segunda etapa do ciclo do nitrogênio (GOMES, 2013). Todas as amostras analisadas na área de estudo apresentaram teores de nitrito bem abaixo do valor máximo permitido estabelecido pela

Portaria N° 2914/2011 do Ministério da saúde (BRASIL, 2011) de 1 mg/L de N-NO₂, como mostra a Figura 41. Esse resultado indica que as águas superficiais e subterrâneas da área de estudo não receberam lixiviados de poluição recentes.

Figura 41 – Concentrações de nitrito nas águas analisadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Linha vermelha: Valor máximo permitido pela portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

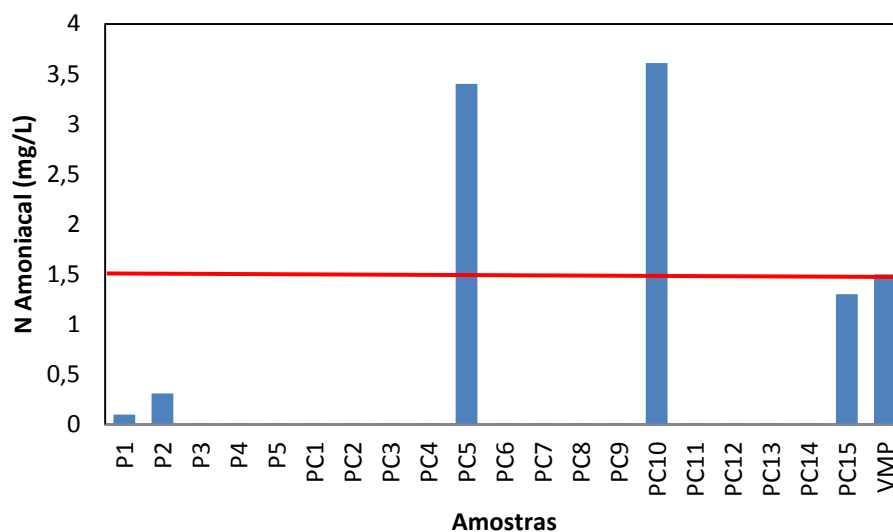
5.5.13 Amônia

Segundo a Portaria N° 2.914/2011 do Ministério da saúde (BRASIL, 2011) o valor máximo permitido é de 1,5 mg/L de N-NH₃ para as águas de consumo humano. Na área de estudo apenas duas amostras apresentaram teores acima do permitido, que foram as amostras PC5 (poço com profundidade de 36 m) e PC10 (poço com profundidade de 44 m), como mostra a Figura 42.

No ciclo do nitrogênio a amônia corresponde à etapa inicial, como consequência do processo de degeneração biológica de matéria orgânica animal e vegetal (PARRON *et al.*, 2011). A amônia pode estar presente em água natural, em baixos teores, tanto na forma ionizada como na forma tóxica não ionizada (NH₃).

Concentrações elevadas como apresentadas pelas amostras PC5 e PC10 podem ser resultantes de fontes de poluição próximas, bem como da redução de nitrato por bactérias ou por íons ferrosos presentes no solo (PARRON *et al.*, 2011).

Figura 42 – Concentrações de nitrogênio amoniacal nas águas analisadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

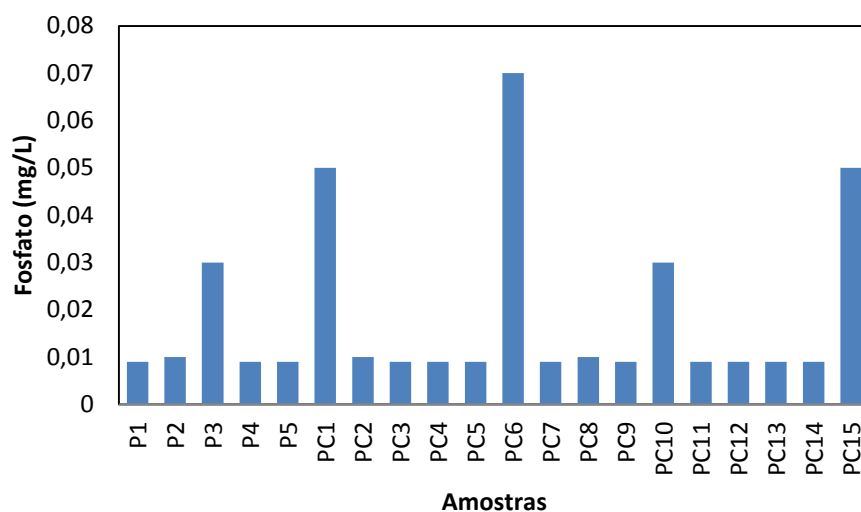
Linha vermelha: Valor máximo permitido pela portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

5.5.14 Fosfatos

Segundo Gomes (2013) *apud* Mathess (1982), a concentração de fosfato deve ser baixa em águas naturais ($< 0,5$ mg/L), devido a ação dos microrganismos. Valores acima de $1,0$ mg/L geralmente são indicativos de águas poluídas, portanto a partir dos resultados das análises (FIGURA 43) pode-se observar que nenhuma amostra apresentou teores de fosfato com níveis de poluição. Todas as amostras apresentaram valores de fosfato inferiores a $0,1$ mg/L (FIGURA 43).

Apesar dos baixos teores de fosfato encontrados nas amostras, observa-se que a amostra PC6 (48 m de profundidade), de um poço localizado dentro do perímetro irrigado, assim como o PC15 (60 m de profundidade), se destacam das demais amostras, indicando possivelmente a influência das atividades agrícolas da área devido os maiores teores de fosfato das águas subterrâneas. Esse atributo é componente de vários insumos agrícolas. Palácio (2004) afirma que esse elemento é definido pela literatura como indicador de atividades agropecuárias.

Figura 43 – Concentrações de fosfato nas águas analisadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.5.15 Ferro

O ferro é encontrado em muitos minerais como principalmente, a hematita (Fe_2O_3), a magnetita (Fe_3O_4), a limonita ($\text{FeO}(\text{OH})$), a siderita (FeCO_3), a pirita (FeS_2) e a ilmenita (FeTiO_3) (FEITOSA *et al.*, 2008).

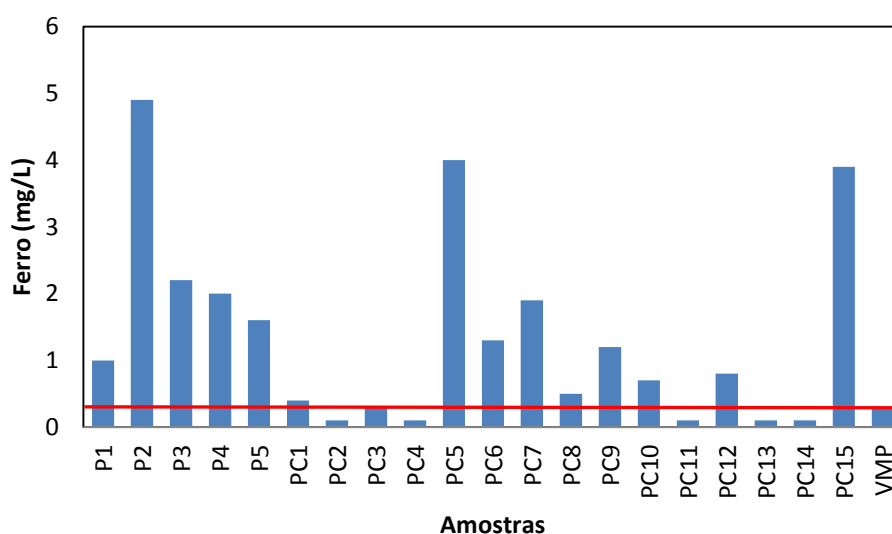
Nas análises realizadas para as amostras da área de estudo o ferro apresentou teores maiores que 0,3 mg/L (valor máximo permitido pelo Ministério da saúde) em 70% das amostras, entre elas duas amostras de água do estuário, três do rio e nove de poços (PC1, PC5, PC6, PC7, PC8, PC9, PC10, PC12 e PC15), como mostra a Figura 44.

A área de estudo é caracterizada predominante pelo Sistema Aquífero Barreiras, cujas rochas apresentam normalmente níveis lateríticos com elevadas concentrações de ferro. Neste contexto, a maioria das amostras apresentaram teores de ferro com máximo de 4 mg/L (poço PC 5 com profundidade de 36m), apresentando coloração avermelhada comumente designada de “capa rosa”.

Quanto ao potencial de dano à operação dos sistemas de irrigação, segundo Franco (2010) apud Nackayama e Bucks (1986), cinco amostras (25%) foram classificadas como de baixo potencial, com valores menores que 0,2 mg/L (PC2, PC4, PC11, PC13 e PC14); oito (40%), de médio potencial, com valores entre 0,2 e 1,5 mg/L (P1, PC1, PC3, PC6, PC8, PC9, PC10 e PC12); e sete (35%), de alto potencial, com valores superiores a 1,5 mg/L (P2, P3, P4, P5, PC5, PC7 e PC15).

Observou-se que as águas coletadas do rio Curu apresentaram valores classificados como médio (P1) e alto (P2, P3, P4 e P5). Franco *et al.* (2010) apresentaram resultados semelhantes em estudo de águas superficiais. Eles obtiveram altos valores desse atributo nas águas de três córregos (Três Barras, Boi e Coqueiro), localizados na região noroeste paulista, com os máximos chegando a 10 mg/L, 9,4 mg/L e 5,0 mg/L, respectivamente. Eles concluíram que a causa dessa alta concentração em alguns pontos analisados devia-se à lixiviação, pela ação da água da chuva, de óxidos de ferro proveniente dos solos da região, que chegam até o leito dos córregos.

Figura 44 – Concentrações de ferro nas águas analisadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Linha vermelha: Valor máximo permitido pela portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

5.5.16 Alcalinidade

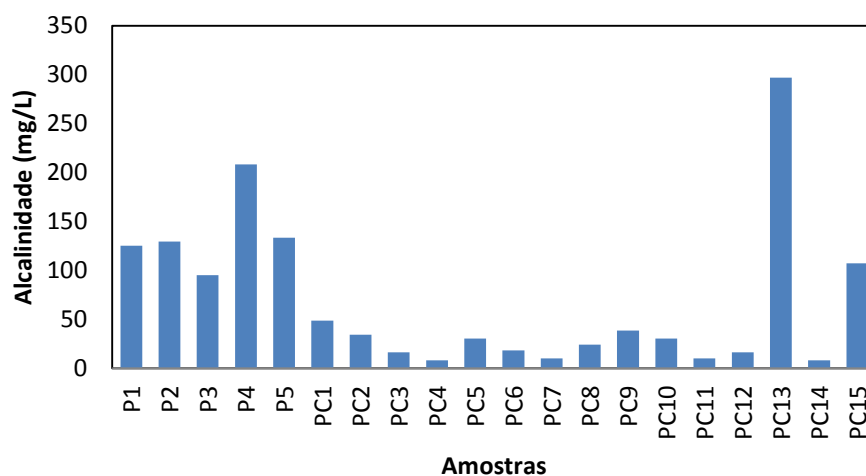
A alcalinidade é definida como a capacidade da água de neutralizar ácidos e tem relação direta com a concentração de carbonatos e bicarbonatos. Os principais componentes da alcalinidade são os sais do ácido carbônico, ou seja, bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. Quando em teores elevados pode conferir sabor desagradável a água (UFV, 2013).

Para as 20 amostras analisadas os teores de alcalinidade variaram de 8,10 mg/L (PC4 sem informação de profundidade e PC14 com 45 m de profundidade) a 296,90 mg/L (PC13 sem informação da profundidade). Os valores que mais se destacaram foram os das amostras P4 (água superficial) e PC13 (água subterrânea) que

apresentaram teor de alcalinidade maiores que 200 mg/L, como mostra a Figura 45, na qual observa-se também a diferença entre as amostras de águas superficiais e subterrâneas. Os poços PC13 e PC15 mostraram valores semelhantes aos das amostras de água superficial.

Segundo Pina (2012), os altos níveis de alcalinidade indicam a presença de efluentes industriais fortemente alcalinos. Em águas poluídas em estado anaeróbico, pode haver formação de sais de ácido acético, ácido propiônico e sulfeto de hidrogênio.

Figura 45 – Concentrações de alcalinidade nas águas analisadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

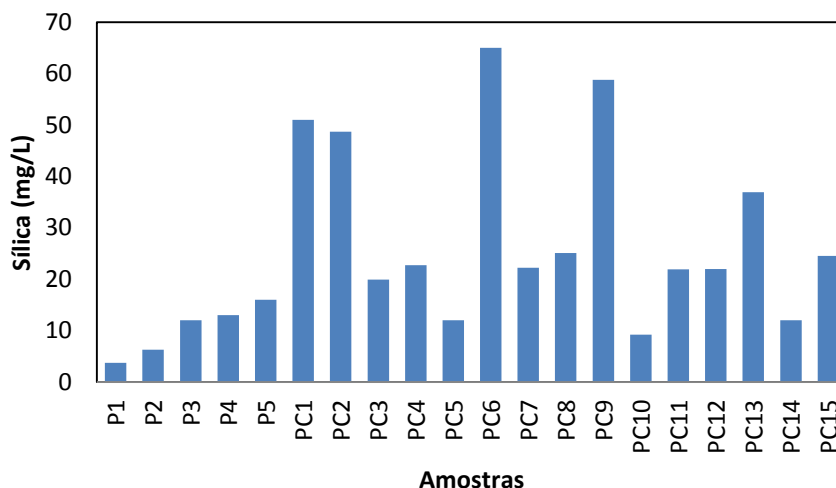
5.5.17 Sílica

As fontes principais de sílica para as águas subterrâneas é o intemperismo de minerais de argila e os feldspatos. Outra fonte é o quartzo que é um dos minerais mais resistentes ao ataque físico-químico. Teores de 20 mg/L não são raros em águas naturais e nos oceanos eles variam de 1 mg/L a 30 mg/L (FEITOSA *et al.*, 2008). A presença de sílica nas águas não oferece risco à saúde humano, nem prejudica a agricultura, mas para as atividades industriais podem ocasionar problemas, pois forma incrustações resistentes, principalmente nas caldeiras (FEITOSA *et al.*, 2008).

Os valores de sílica resultantes das análises das 20 amostras variaram de 3,70 mg/L (P1) a 65 mg/L (PC6 com 48 m de profundidade), com os maiores valores apresentados pelas amostras PC6, com 65 mg/L (profundidade de 48m), PC9, com 58,8 mg/L (profundidade de 60m), PC1, com 51 mg/L (profundidade de 120m) e PC2, com

48,7 mg/L (profundidade de 85m). Do total, 55% das amostras, todas provenientes de águas subterrâneas, apresentaram valores de sílica acima de 20 mg/L (FIGURA 46).

Figura 46 – Concentrações de sílica nas águas analisadas

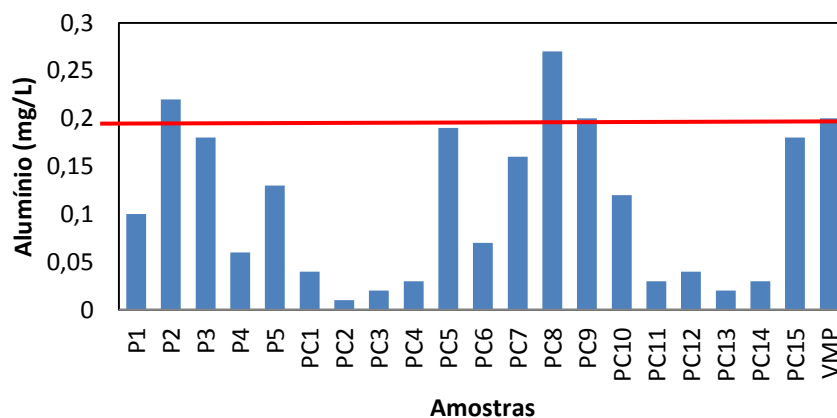


Fonte: Elaborado pelo autor.

5.5.18 Alumínio

As amostras P2 (água estuarina) e PC8 (poço, com 33m de profundidade), com respectivamente 0,22 mg/L e 0,27 mg/L, foram as que apresentaram teor de alumínio acima do valor máximo permitido pela Portaria N° 2914/2011 do Ministério da saúde, de 0,2 mg/L (FIGURA 47).

Figura 47 – Concentrações de alumínio nas águas analisadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Linha vermelha: Valor máximo permitido pela portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

5.6 Análise Estatística Multivariada

5.6.1 Análise de Componente Principal

A análise de componente principal proposta para esse trabalho foi realizada com os dados dos 20 atributos físico-químicos analisados para as 20 amostras, inicialmente proposta em uma primeira simulação, que teve como resultado a matriz de correlação apresentada na Tabela 14. Esta matriz mostra os coeficientes de correlação de Pearson, ou correlações entre cada par de variáveis analisadas.

Para a análise do grau de correlação entre cada par de variáveis será utilizada a classificação proposta por Callegari-Jacques (2003) representada na Tabela 12

Tabela 12 – Avaliação qualitativa do grau de correlação entre duas variáveis

| Coeficiente de correlação (r) | A correlação é dita |
|--|----------------------------|
| 0 | Nula |
| $0 < r < 0,3$ | Fraca |
| $0,3 \leq r < 0,6$ | Regular |
| $0,6 \leq r < 0,9$ | Forte |
| $0,9 \leq r < 1$ | Muito forte |
| 1 | Plena ou perfeita |

Fonte: Callegari-Jacques (2003).

Esta primeira análise obteve determinante igual à zero o que inviabiliza o cálculo da medida de adequação da amostra Kaiser – Meyer – Olkin (KMO), que é o índice usado para verificar se o conjunto de dados se adéqua a uma análise fatorial. O valor do determinante da matriz de correlação informa se a matriz é inversível e quando este valor é zero, a matriz de correlação não pode ser invertida e os métodos de extração de análise fatorial não podem ser aplicados. Por isso atributos foram sendo retirados da análise fatorial tendo como base as correlações e os valores de comunalidades. Várias simulações foram realizadas com o objetivo de chegar a um resultado com KMO aceitável, seguindo classificação proposta por Hair Jr. *et al.* (2009) (TABELA 13), porém nenhuma delas apresentou resultados como KMO e matriz de anti-imagem, que são indispensáveis para uma boa análise fatorial dos dados, inviabilizando a utilização dessa conformação inicial de dados.

Tabela 13 – Classificação do índice KMO

| Kayser-Mayer-Olkin (KMO) | Classificação |
|--------------------------|---------------|
| $KMO \geq 0,8$ | Admirável |
| $0,7 \leq KMO < 0,8$ | Mediano |
| $0,6 \leq KMO < 0,7$ | Medíocre |
| $0,5 \leq KMO < 0,6$ | Ruim |
| $KMO < 0,5$ | Inaceitável |

Fonte: Hair Jr. *et al.* (2009)

Desde o início suspeitava-se que os valores para as amostras P1 e P2, que são de águas estuarinas, impossibilitariam a análise fatorial, devido à comparação de águas com salinidades tão diferentes (águas continentais e de origem marinha). Assim procedeu-se uma nova análise excluindo essas duas amostras. A primeira simulação utilizando os 20 atributos físico-químicos analisados, mas dessa vez com as 18 amostras de água doce, teve como resultado a matriz de correlação da Tabela 14. Nessa simulação 6 fatores foram formados resultantes das correlações entre atributos, porém não foi possível extrair o KMO, pois o valor determinante foi igual à zero.

Tabela 14 – Matriz de correlação resultante da primeira simulação contendo 20 atributos físico-químicos analisados para 20 amostras de água superficial e subterrânea do Baixo Curu

| Atributo | C.E | Drz | pH | STD | Tbd | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | NO ₃ ⁻ | NO ₂ ⁻ | NH ₄ ⁺ | PO ₄ ³⁻ | Fe ³⁺ | Alc | SiO ₂ | Al | |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------|--------|------------------|-------|--|
| C.E | 1,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DT | 0,999 | 1,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| pH | 0,310 | 0,325 | 1,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD | 1,000 | 0,999 | 0,308 | 1,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tbd | 0,141 | 0,134 | 0,681 | 0,139 | 1,000 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ca ²⁺ | 0,999 | 0,998 | 0,348 | 0,999 | 0,166 | 1,000 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mg ²⁺ | 0,998 | 1,000 | 0,321 | 0,999 | 0,128 | 0,998 | 1,000 | | | | | | | | | | | | | | |
| K ⁺ | 0,998 | 0,995 | 0,288 | 0,998 | 0,136 | 0,996 | 0,995 | 1,000 | | | | | | | | | | | | | |
| Na ⁺ | 1,000 | 0,999 | 0,301 | 1,000 | 0,137 | 0,998 | 0,998 | 0,999 | 1,000 | | | | | | | | | | | | |
| Cl ⁻ | 1,000 | 0,998 | 0,300 | 1,000 | 0,137 | 0,998 | 0,998 | 0,999 | 1,000 | 1,000 | | | | | | | | | | | |
| SO ₄ ²⁻ | 0,998 | 0,994 | 0,289 | 0,998 | 0,135 | 0,995 | 0,994 | 0,998 | 0,997 | 0,998 | 1,000 | | | | | | | | | | |
| HCO ₃ ⁻ | 0,298 | 0,329 | 0,765 | 0,297 | 0,377 | 0,329 | 0,329 | 0,253 | 0,289 | 0,285 | 0,261 | 1,000 | | | | | | | | | |
| NO ₃ ⁻ | -0,220 | -0,194 | -0,109 | -0,218 | -0,392 | -0,217 | -0,190 | -0,240 | -0,222 | -0,225 | -0,233 | 0,089 | 1,000 | | | | | | | | |
| NO ₂ ⁻ | -0,025 | -0,025 | -0,050 | -0,026 | -0,118 | -0,031 | -0,024 | -0,018 | -0,025 | -0,025 | -0,026 | -0,081 | 0,113 | 1,000 | | | | | | | |
| NH ₄ ⁺ | -0,078 | -0,088 | -0,132 | -0,080 | -0,048 | -0,099 | -0,086 | -0,070 | -0,076 | -0,076 | -0,079 | -0,126 | -0,263 | 0,565 | 1,000 | | | | | | |
| PO ₄ ³⁻ | -0,178 | -0,188 | 0,050 | -0,176 | 0,234 | -0,187 | -0,188 | -0,159 | -0,175 | -0,176 | -0,166 | -0,103 | -0,211 | 0,069 | 0,127 | 1,000 | | | | | |
| Fe ³⁺ | 0,379 | 0,374 | 0,284 | 0,380 | 0,615 | 0,379 | 0,373 | 0,380 | 0,384 | 0,382 | 0,356 | 0,210 | -0,410 | -0,068 | 0,368 | 0,135 | 1,000 | | | | |
| Alc | 0,298 | 0,329 | 0,765 | 0,297 | 0,377 | 0,329 | 0,329 | 0,253 | 0,289 | 0,285 | 0,261 | 1,000 | 0,089 | -0,081 | -0,126 | -0,103 | 0,210 | 1,000 | | | |
| SiO ₂ | -0,393 | -0,386 | -0,180 | -0,390 | -0,238 | -0,390 | -0,385 | -0,390 | -0,391 | -0,393 | -0,390 | -0,146 | 0,390 | 0,017 | -0,302 | 0,470 | -0,318 | -0,146 | 1,000 | | |
| Al | 0,225 | 0,220 | 0,150 | 0,226 | 0,449 | 0,227 | 0,218 | 0,237 | 0,228 | 0,228 | 0,220 | -0,018 | 0,035 | 0,192 | 0,284 | 0,013 | 0,649 | -0,018 | -0,197 | 1,000 | |

Fonte: Elaborada pelo autor.

Determinante = 0,000

Tabela 15 – Matriz de correlação resultante da primeira simulação contendo 20 atributos físico-químicos analisados para 18 amostras de água superficial e subterrânea do Baixo Curu

| Atributo | C.E | Drz | pH | STD | Tbd | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | NO ₃ ⁻ | NO ₂ ⁻ | NH ₄ ⁺ | PO ₄ ³⁻ | Fe ³⁺ | Alc | SiO ₂ | Al | |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------|--------|------------------|-------|--|
| C.E | 1,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DT | 0,907 | 1,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| pH | 0,673 | 0,586 | 1,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD | 0,992 | 0,944 | 0,669 | 1,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tbd | 0,246 | 0,051 | 0,680 | 0,215 | 1,000 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ca ²⁺ | 0,859 | 0,815 | 0,841 | 0,865 | 0,435 | 1,000 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mg ²⁺ | 0,880 | 0,994 | 0,516 | 0,922 | -0,022 | 0,749 | 1,000 | | | | | | | | | | | | | | |
| K ⁺ | -0,080 | -0,182 | 0,439 | -0,108 | 0,300 | 0,052 | -0,218 | 1,000 | | | | | | | | | | | | | |
| Na ⁺ | 0,992 | 0,914 | 0,614 | 0,990 | 0,186 | 0,814 | 0,897 | -0,139 | 1,000 | | | | | | | | | | | | |
| Cl ⁻ | 0,996 | 0,889 | 0,642 | 0,982 | 0,222 | 0,832 | 0,864 | -0,086 | 0,990 | 1,000 | | | | | | | | | | | |
| SO ₄ ²⁻ | 0,597 | 0,423 | 0,681 | 0,568 | 0,564 | 0,577 | 0,378 | 0,427 | 0,529 | 0,582 | 1,000 | | | | | | | | | | |
| HCO ₃ ⁻ | 0,907 | 0,898 | 0,748 | 0,931 | 0,359 | 0,887 | 0,865 | -0,073 | 0,895 | 0,877 | 0,533 | 1,000 | | | | | | | | | |
| NO ₃ ⁻ | 0,273 | 0,461 | -0,047 | 0,329 | -0,375 | 0,180 | 0,494 | -0,272 | 0,298 | 0,249 | 0,048 | 0,158 | 1,000 | | | | | | | | |
| NO ₂ ⁻ | -0,006 | -0,006 | -0,044 | -0,015 | -0,116 | -0,069 | 0,006 | 0,290 | -0,016 | -0,006 | 0,013 | -0,078 | 0,111 | 1,000 | | | | | | | |
| NH ₄ ⁺ | -0,072 | -0,161 | -0,115 | -0,108 | -0,041 | -0,278 | -0,134 | 0,210 | -0,039 | -0,050 | -0,195 | -0,111 | -0,289 | 0,564 | 1,000 | | | | | | |
| PO ₄ ³⁻ | -0,192 | -0,234 | 0,103 | -0,162 | 0,261 | -0,218 | -0,228 | 0,425 | -0,167 | -0,217 | 0,206 | -0,063 | -0,261 | 0,065 | 0,116 | 1,000 | | | | | |
| Fe ³⁺ | 0,012 | -0,160 | 0,249 | -0,013 | 0,681 | 0,021 | -0,187 | 0,020 | 0,017 | -0,002 | 0,066 | 0,139 | -0,406 | -0,082 | 0,471 | 0,243 | 1,000 | | | | |
| Alc | 0,907 | 0,898 | 0,748 | 0,931 | 0,359 | 0,887 | 0,865 | -0,074 | 0,895 | 0,877 | 0,533 | 1,000 | 0,158 | -0,078 | -0,111 | -0,063 | 0,139 | 1,000 | | | |
| SiO ₂ | -0,102 | 0,011 | -0,081 | -0,029 | -0,207 | -0,028 | 0,018 | -0,063 | -0,074 | -0,136 | -0,067 | -0,053 | 0,334 | 0,008 | -0,361 | 0,445 | -0,242 | -0,053 | 1,000 | | |
| Al | -0,166 | -0,200 | 0,104 | -0,172 | 0,439 | -0,057 | -0,218 | 0,186 | -0,198 | -0,197 | 0,056 | -0,087 | 0,098 | 0,206 | 0,313 | 0,054 | 0,593 | -0,087 | -0,129 | 1,000 | |

Fonte: Elaborada pelo autor

Determinante = 0,000

Para a segunda simulação dois atributos SiO_2 e PO_4^{3-} , que não tinham correlação forte com outros atributos (Tabela 15), e que compunham o fator 6 na primeira simulação, foram retirados. Como resultado, 5 fatores foram formados, porém O KMO também não foi apresentado. O teste de KMO varia entre 0 e 1 e quanto mais perto de 1, melhor. Segundo Hair Jr. *et al.* (2009) e Corrar *et al.* (2017) um KMO menor do que 0,50 é inaceitável, pois indica que os fatores encontrados na análise não conseguem descrever satisfatoriamente as variações dos dados originais.

Observou-se que um único atributo NO_3^- ficou no fator 5, com carga fatorial de 0,915. Este atributo foi retirado da análise para então realizar-se uma terceira simulação, que resultou em 4 fatores. O KMO mais uma vez não foi calculado, sendo necessária uma nova simulação, retirando mais atributos.

Na quarta simulação foram retirados os atributos NO_2^- e NH_4^+ , pois ficaram isolados no fator 4 da terceira simulação com cargas fatoriais de 0,881 e 0,844, respectivamente e não apresentaram correlação forte com outros atributos. Nessa simulação o determinante da matriz de correlação foi diferente de zero, possibilitando a determinação do índice KMO de 0,603, que conforme sugere Hair *et al.* (2009) é medíocre.

Nesta simulação também foi possível extrair os testes estatísticos de esfericidade de Bartlett, que examinam se as variáveis encontram-se significativamente correlacionadas, com $p < 0,01$.

Apesar do KMO extraído ter sido considerado satisfatório, alguns valores de Medida de Adequação da Amostra (*Measure of Sampling Adequacy* - MSA) para cada variável na diagonal da matriz de correlação anti-imagem ficaram muito baixos, indicando ser necessária uma quinta simulação, na qual retirou-se o atributo com valor de anti-imagem mais baixo, o Alumínio.

Na quinta simulação houve um aumento do valor de KMO em relação à simulação anterior, ficando em 0,742 e os testes estatísticos de esfericidade de Bartlett permaneceram significativos a $p < 0,01$. Mais uma vez valores baixos de anti-imagem conduziram a análise para uma sexta simulação, para a qual foi retirado o K^+ , que apresentou o valor mais baixo na diagonal da matriz anti-imagem.

A sexta simulação foi realizada com os 13 atributos restantes (C.E, Dureza Total, pH, Sólidos Totais Dissolvidos, Turbidez, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Fe^{3+} e Alcalinidade) e apresentou resultados, indicando que os fatores encontrados na análise fatorial descreveram adequadamente a variação dos dados. O valor de KMO

aumentou para 0,769 em relação ao da quinta simulação e os testes estatísticos de esfericidade de Bartlett continuaram significativos a $p < 0,01$.

Os valores das comunalidades dos atributos permaneceram altos em todas as simulações, por isso esse parâmetro não foi utilizado como critério para exclusão de atributos no decorrer da análise fatorial. As informações de cada simulação da Análise de Componente Principal estão na Tabela 16. As comunalidades de cada atributo da sexta simulação estão apresentadas na Tabela 18.

Tabela 16 – Informações de cada simulação da Análise de Componente Principal

| Simulação | Nº de atributos | Atributos retirados | Determinante | KMO | Faixa de comunalidades | Nº de fatores |
|----------------|-----------------|---|--------------|-------|------------------------|---------------|
| 1 ^a | 20 | - | - | - | 0,774 - 0,990 | 6 |
| 2 ^a | 18 | SiO ₂ e PO ₄ ³⁻ | - | - | 0,770 - 0,990 | 5 |
| 3 ^a | 17 | NO ₃ ⁻ | - | - | 0,631 - 0,989 | 4 |
| 4a | 15 | NO ₂ ⁻ e NH ₄ ⁺ | 4,00E-29 | 0,603 | 0,637 - 0,986 | 3 |
| 5 ^a | 14 | Al | 8,06E-28 | 0,742 | 0,753 - 0,987 | 3 |
| 6 ^a | 13 | K+ | 6,51E-27 | 0,769 | 0,538 - 0,985 | 2 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 17 representa a matriz de correlação resultante da sexta simulação. Do total de pares 74,36% apresentaram valores significativos para $p < 0,05$. Dos valores significativos 79,31% caracterizou-se como de correlação muito forte ou forte de acordo com a classificação proposta por Callegari-Jacques (2003), pois apresentaram correlação $\geq 0,6$ enquanto que 20,69% apresentou correlação com valores dentro do intervalo $0,3 \leq |r| < 0,6$ caracterizando-se, portanto como de correlação regular (TABELA 12).

Tabela 17 – Matriz de correlação dos atributos das águas superficial e subterrânea do Baixo Curu

| Atributos | C.E | Drz | pH | STD | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Alc | Tbd | Fe ³⁺ |
|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|---------------|------------------|
| C.E | 1,000 | | | | | | | | | | | | |
| DT | 0,907* | 1,000 | | | | | | | | | | | |
| pH | 0,673* | 0,586* | 1,000 | | | | | | | | | | |
| STD | 0,992* | 0,944* | 0,669* | 1,000 | | | | | | | | | |
| Ca ²⁺ | 0,859* | 0,815* | 0,841* | 0,865* | 1,000 | | | | | | | | |
| Mg ²⁺ | 0,880* | 0,994* | 0,516* | 0,922* | 0,749* | 1,000 | | | | | | | |
| Na ⁺ | 0,992* | 0,914* | 0,614* | 0,990* | 0,814* | 0,897* | 1,000 | | | | | | |
| Cl ⁻ | 0,996* | 0,889* | 0,642* | 0,982* | 0,832* | 0,864* | 0,990* | 1,000 | | | | | |
| SO ₄ ²⁻ | 0,597* | 0,423* | 0,681* | 0,568* | 0,577* | 0,378 | 0,529* | 0,582* | 1,000 | | | | |
| HCO ₃ ⁻ | 0,907* | 0,898* | 0,748* | 0,931* | 0,887* | 0,865* | 0,895* | 0,877* | 0,533* | 1,000 | | | |
| Alc | 0,907* | 0,898* | 0,748* | 0,931* | 0,887* | 0,865* | 0,895* | 0,877* | 0,533* | 1,000* | 1,000 | | |
| Tbd | 0,246 | 0,051 | 0,680* | 0,215 | 0,435* | -0,022 | 0,186 | 0,222 | 0,564* | 0,359 | 0,359 | 1,000 | |
| Fe ³⁺ | 0,012 | -0,160 | 0,249 | -0,013 | 0,021 | -0,187 | 0,017 | -0,002 | 0,066 | 0,139 | 0,139 | 0,681* | 1,000 |

Fonte: Elaborada pelo autor.

* valores significativos com p<0,05

A matriz mostra que Condutividade Elétrica correlacionou-se fortemente com DT, pH, STD, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , HCO_3^- e Alcalinidade. Esta forte correlação expressa a concentração dos sais na água. Correlações semelhantes também foram encontradas por Andrade (2007), ao estudar a qualidade das águas superficiais na bacia do alto Acarau, e por Palácio (2004), ao estudar a variação temporal da composição das águas do aquífero aluvial do rio Trussu, na parte alta da bacia do Jaguaribe, Ceará.

HCO_3^- e alcalinidade obtiveram coeficientes de correlação extremamente forte com coeficiente igual a 1,000, esse resultando já era esperado, já que o bicarbonato é um dos tipos de alcalinidade total. O HCO_3^- e alcalinidade apresentaram forte correlação com o pH, parâmetro importante para o desdobramento de vários processos biológicos e químicos que refletem nas características das águas. Este resultado indica a forte relação existente entre o pH e as concentrações de gás carbônico, bicarbonatos e carbonatos, corroborando com os resultados de Pina (2012) e Gomes e Cavalcante (2017) ao estudarem qualidade de água subterrânea.

A Dureza apresentou correlação forte com os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} . Este resultado era esperado, já que a dureza é definida pela maior ou menor presença de sais dissolvidos de cálcio e magnésio. Gomes e Cavalcante (2017) obtiveram resultado semelhante utilizando análise estatística multivariada ao estudar a qualidade das águas subterrâneas em Fortaleza, Ceará, assim como Andrade *et al.* (2007 b), ao estudar indicadores de qualidade de águas superficiais.

O ferro correlacionou-se fortemente com a turbidez (0,681) e a turbidez correlacionou também fortemente com pH (0,680). O ferro tem suas origens em minerais ferro-magnesianos. No estado ferroso (Fe^{2+}) forma compostos solúveis, principalmente hidróxidos e em ambientes oxidantes, o Fe^{2+} passa a Fe^{3+} , dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e precipita, elevando a turbidez e causando uma coloração avermelhada à água, comumente designada de “capa rosa” (SANTOS, 2008).

Segundo Mestrinho (2008), mudanças das condições de Eh e pH afetam a solubilidade e, por consequência, a mobilidade de muitos metais. Quando o pH está na faixa de 5 a 9, o hidróxido de ferro predomina, como é o caso da área de estudo.

O sulfato correlacionou-se fortemente com o pH (0,681). Segundo Hounslow (1995), a principal fonte de sulfato é o CaSO_4 (anidrita, gipso, ácido sulfúrico da oxidação da pirita). Se a reação for inversa ocorrerá a remoção do Ca^{2+} por precipitação e/ou troca iônica, ou a formação de águas ácidas ($\text{pH} < 6,0$), resultantes da oxidação da pirita.

O Cl^- apresentou uma correlação muito forte com o sódio (0,990) que pode ser explicada pelo acúmulo de sais provenientes de precipitações na área, com aerossóis marinhos em sua composição (Souza *et al.*, 2005).

A área de estudo está localizada em zona costeira e o ponto mais distante da costa localiza-se a aproximadamente 22 km, justificando a forte influência de precipitações enriquecidas com partículas de aerossóis marinhos. Andrade *et al.* (2016) estudando as águas subterrâneas do perímetro irrigado do baixo Acaraú, localizado a aproximadamente 29 km da costa, também atribuíram aos aerossóis vindos do mar o aporte de sódio e de cloreto nas águas subterrâneas da área.

Na Tabela 18 encontram-se as cargas fatoriais, representando a medida relativa da importância de cada atributo em relação às componentes principais formadas; as comunalidades de cada atributo; a variância explicada por cada fator; e a variância acumulada.

Tabela 18 – Cargas fatoriais, comunalidades e variância explicada na análise fatorial dos 13 atributos, após a rotação pelo método varimax

| Atributo | Carga fatorial | | Comunalidade |
|------------------------------------|----------------|--------------|--------------|
| | Fator 1 | Fator 2 | |
| C.E | 0,969 | 0,146 | 0,959 |
| DT | 0,975 | -0,074 | 0,957 |
| pH | 0,644 | 0,630 | 0,811 |
| STD | 0,986 | 0,110 | 0,985 |
| Ca^{2+} | 0,866 | 0,323 | 0,854 |
| Mg^{2+} | 0,957 | -0,144 | 0,936 |
| Na^+ | 0,965 | 0,089 | 0,940 |
| Cl^- | 0,956 | 0,122 | 0,929 |
| SO_4^{2-} | 0,524 | 0,514 | 0,538 |
| HCO_3^- | 0,925 | 0,270 | 0,929 |
| Alc | 0,925 | 0,271 | 0,929 |
| Tbd | 0,116 | 0,967 | 0,948 |
| Fe^{3+} | -0,142 | 0,785 | 0,636 |
| Variância explicada pelo fator (%) | 67,74 | 19,57 | |
| Variância acumulada (%) | 87,31 | | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise fatorial forneceu como resultado a formação de dois fatores, com autovalores superiores a um, capazes de explicar o máximo da variância do conjunto de informações originais com uma variância acumulada de 87,31%.

Na Tabela 18 verifica-se que a variância explicada pelo Fator 1, composto pelos atributos C.E, Dureza Total, pH, STD, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- e Alcalinidade, é de 67,74%, enquanto que a explicada pelo Fator 2 (Turbidez e Fe^{3+}), é de 19,57%.

No Fator 1, os atributos C.E, Dureza Total, STD, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , HCO_3^- e Alcalinidade apresentaram cargas fatoriais superiores a 0,86, indicando que os mesmos são os mais significativos na caracterização da qualidade das águas na área de estudo. Os atributos do Fator 1, concentrações de Dureza Total, Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- e Alcalinidade, podem estar relacionados, conforme Brodnjak-Voncina *et al.* (2002), com o processo natural de intemperismo dos componentes geológicos do solo, enquanto os atributos concentrações de Na^+ e Cl^- , podem está relacionado à presença de aerossóis marinhos nas águas de recarga do aquífero.

Fernandes *et al.* (2006) utilizaram análise estatística multivariada em amostras de águas subterrâneas no município de Caucaia, Ceará e encontraram correlação forte entre C.E., STD, cloretos e bicarbonatos. Este resultado mostra o quanto a C.E. relaciona-se diretamente com o estado químico iônico de uma forma geral. Andrade *et al.* (2010) também encontraram correlações fortes entre C.E, Na, Cl e Mg, em amostras de águas subterrâneas no perímetro irrigado Baixo Acaraú.

No Fator 2, os atributos Turbidez e Fe^{3+} , apresentaram cargas fatoriais de respectivamente 0,967 e 0,785, indicando que os mesmos são os mais significativos no processo de dissolução de rochas que contém ferro no aquífero Barreiras.

5.6.2 Análise de Agrupamento

A análise de agrupamento foi realizada com o objetivo de avaliar a semelhança das águas coletadas na área de estudo, tanto com relação à distribuição espacial, quanto com à origem das mesmas, sejam superficiais ou subterrâneas.

A técnica foi aplicada utilizando os dados das análises físico-químicas das 18 amostras de águas superficiais e subterrâneas da área de estudo (três amostras do rio Curu e quinze amostras de poços profundos), considerando apenas os atributos explicados por cada um dos dois Fatores formados na análise de componente principal.

Neste contexto, dois dendrogramas foram gerados para agrupar as amostras de águas similares para os Fatores 1 e 2 (FIGURAS 48 e 50). Os grupos foram definidos

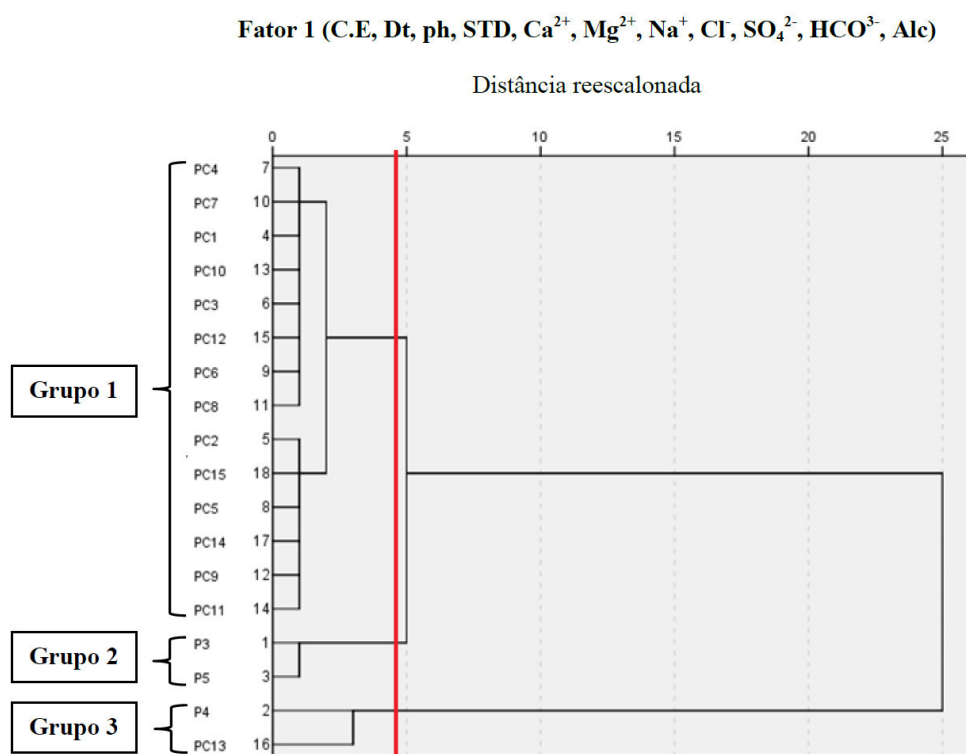
pelos pontos de corte dos dendrogramas, representados nas Figuras 48 e 50 por linhas vermelhas.

Segundo Corrar *et al.* (2017) e Hair Jr *et al.* (2009) para a infelicidade dos pesquisadores, que utilizam a análise de agrupamento, não existe um procedimento padrão de seleção do ponto ótimo de corte do dendrograma para definir a quantidade de grupos, e isso decorre do fato da inexistência de critério estatístico interno usado para inferência, como é o caso de testes de significância de outros métodos multivariados. Para isso ao longo do tempo pesquisadores acabaram desenvolvendo algumas técnicas para auxiliar na tomada dessa decisão.

Para esse estudo foi utilizada uma técnica de definição do ponto de corte apresentada por CORRAR *et al.* (2017) que consiste em examinar alguma medida de similaridade ou distância entre grupos a cada passo sucessivo, com a solução sendo definida quando os sucessivos valores entre os passos tiverem uma súbita elevação. Essa técnica foi escolhida entre outras por ser relativamente simples e por estar sendo amplamente utilizada em pesquisas de cunho ambiental.

O dendrograma formado a partir dos atributos explicados pelo Fator 1 (C.E, Dureza Total, pH, STD, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- e Alcalinidade) (FIGURA 48) mostra a formação de 3 grupos com o ponto de corte, na distancia de 4,58, que foi definido pela primeira grande diferença entre os coeficientes de dois grupos consecutivos 24,236 (59,570-35,334) como pode-se verificar na tabela19.

Figura 48 – Dendrograma gerado a partir das variáveis explicadas pelo fator 1



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 19 – Cronograma de aglomeração resultante da análise de agrupamento das variáveis explicadas pelo Fator 1

| Número de grupos | Coefficientes | Diferença entre coeficientes |
|------------------|---------------|------------------------------|
| 17 | 0,076 | 0,229 |
| 16 | 0,306 | 0,234 |
| 15 | 0,540 | 0,241 |
| 14 | 0,781 | 0,312 |
| 13 | 1,092 | 0,382 |
| 12 | 1,475 | 0,580 |
| 11 | 2,055 | 1,131 |
| 10 | 3,186 | 1,227 |
| 9 | 4,413 | 2,109 |
| 8 | 6,522 | 3,322 |
| 7 | 9,844 | 3,659 |
| 6 | 13,503 | 4,286 |
| 5 | 17,789 | 5,978 |
| 4 | 23,767 | 11,567 |
| 3 | 35,334 | 24,236 |
| 2 | 59,570 | 127,430 |
| 1 | 187,000 | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

O grupo 1 agrupou 14 amostras, aproximadamente 78% do total, e foi formado na sua plenitude por águas provenientes de poços, deixando claro a influência

da origem das águas analisadas como determinante da similaridade entre os componentes desse grupo. As amostras que formam o grupo 1 estão bem distribuídas espacialmente pela área de estudo como mostra a Figura 49. Nesse grupo ficaram todas as águas com $\text{pH} < 6$ que correspondem a 64 % do grupo, que pode estar relacionado com o fato do grupo também conter os menores valores de bicarbonato. Segundo Hermes e Silva (2002) os valores de pH na água tendem a ser mais elevados quando ocorre a presença de bicarbonatos.

O grupo 2 foi formado pelas amostras P3 e P5 coletadas no rio Curu. O agrupamento indica que as características físico-químicas diferenciadas das águas superficiais, em comparação com as águas subterrâneas, influenciaram na formação desse grupo.

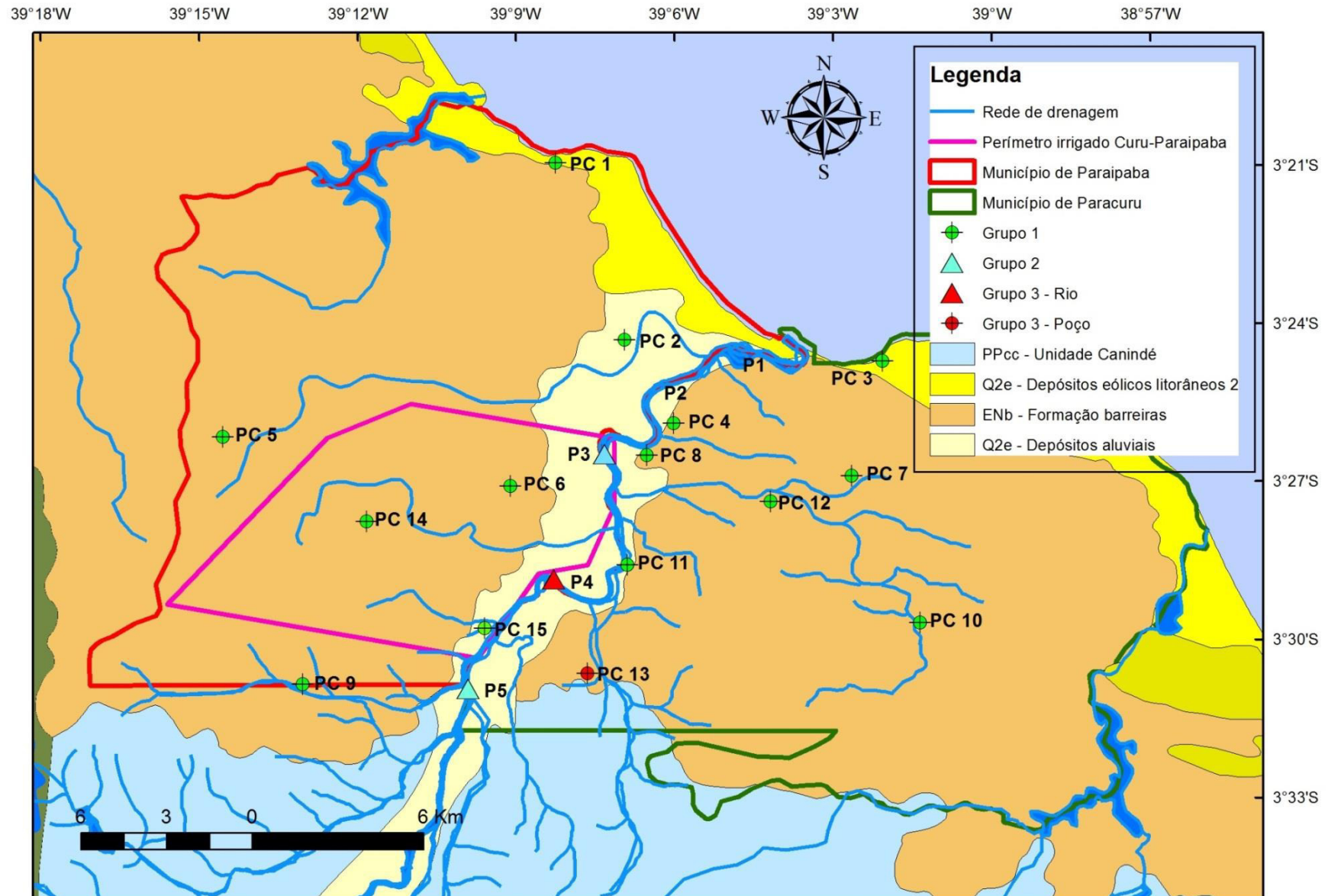
O grupo 3 foi formado pelas águas das amostras P4 e PC13, que são de água superficial e subterrânea, respectivamente. A amostra P4 se diferencia das demais amostras coletadas no rio (P3 e P5), devido possivelmente a contribuição de dois rios tributários que desembocam no rio Curu em localização a montante de P4 (FIGURA 51). Um tributário de nome desconhecido, que desemboca no rio pela margem direita, provavelmente contribui com águas drenadas da formação geológica Unidade Canindé, e o outro chamado Córrego do Mato, que desemboca no rio à sua margem esquerda, drena águas que passam por comunidade de intensa atividade agrícola.

A amostra PC13 também se diferencia das demais amostras coletadas nos poços, que se justifica pelo fato de provavelmente estar explotando água do meio cristalino presente na região. A análise dessas amostras revelou valores altos para os atributos ligados à salinidade, que se destacam das demais amostras, inclusive com valores de Dureza, STD, Na^+ e Cl^- ultrapassando o máximo permitido para o consumo humano, segundo a Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

A maior parte dos atributos dessas duas amostras apresentaram valores semelhantes, indicando que possivelmente a água subterrânea da amostra PC13 está sofrendo as mesmas influências que a água superficial da amostra P4, que podem estar relacionadas com a localização desses pontos.

O resultado apresentado pelo dendrograma mostra que o agrupamento foi definido principalmente pelo nível de salinidade e pela origem das águas (superficial ou subterrânea) analisadas, não ocorrendo variabilidade espacial das variáveis hidroquímicas.

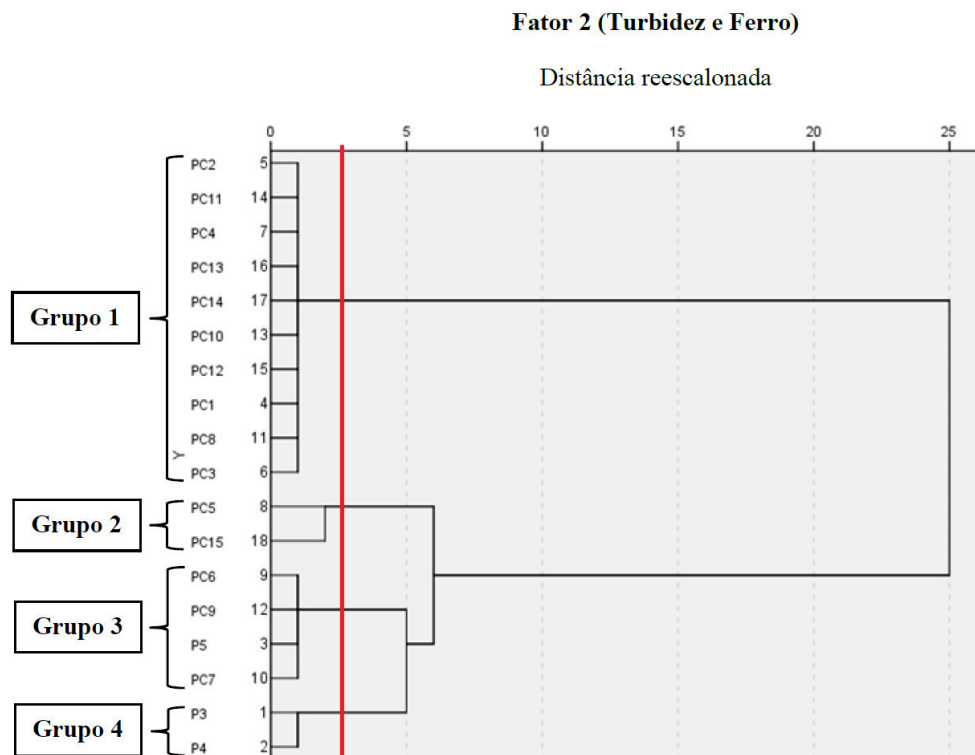
Figura 49 – Distribuição espacial dos grupos gerados a partir dos atributos que formam o Fator 1 da análise fatorial



Fonte: Elaborado pelo autor.

O dendrograma gerado pelos atributos explicados pelo Fator 2 (Turbidez e Fe^{3+}) (FIGURA 50) mostra a formação de 4 grupos com o ponto de corte, na distância de 2,51, que foi definido pela primeira grande diferença entre os coeficientes de dois grupos consecutivos 3,952 (6,649-2,697) como pode-se verificar na tabela 20.

Figura 50 – Dendrograma gerado a partir das variáveis explicadas pelo fator 2



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 20 - Cronograma de aglomeração resultante da análise de agrupamento das variáveis explicadas pelo Fator 2

| Número de grupos | Coefficientes | Diferença entre coeficientes |
|------------------|---------------|------------------------------|
| 17 | 0,000 | 0,000 |
| 16 | 0,000 | 0,000 |
| 15 | 0,000 | 0,001 |
| 14 | 0,001 | 0,003 |
| 13 | 0,005 | 0,003 |
| 12 | 0,008 | 0,008 |
| 11 | 0,016 | 0,011 |
| 10 | 0,026 | 0,096 |
| 9 | 0,122 | 0,097 |
| 8 | 0,219 | 0,336 |
| 7 | 0,555 | 0,341 |

| Número de grupos | Coefficientes | Diferença entre coeficientes |
|-------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| 6 | 0,896 | 0,540 |
| 5 | 1,436 | 1,261 |
| 4 | 2,697 | 3,952 |
| 3 | 6,649 | 5,132 |
| 2 | 11,781 | 22,219 |
| 1 | 34,000 | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

O grupo 1 foi formado por águas de 10 poços, aproximadamente 56% do total de amostras. Nesse caso é a origem das águas analisadas que pode ter influenciado na formação do grupo. Esses poços possuem profundidades que variam de 33 m a 120 m e estão bem distribuídos espacialmente pela área de estudo atingindo os três tipos geológicos recorrentes na área (FIGURA 51), descartando assim a geologia como determinante da formação do grupo.

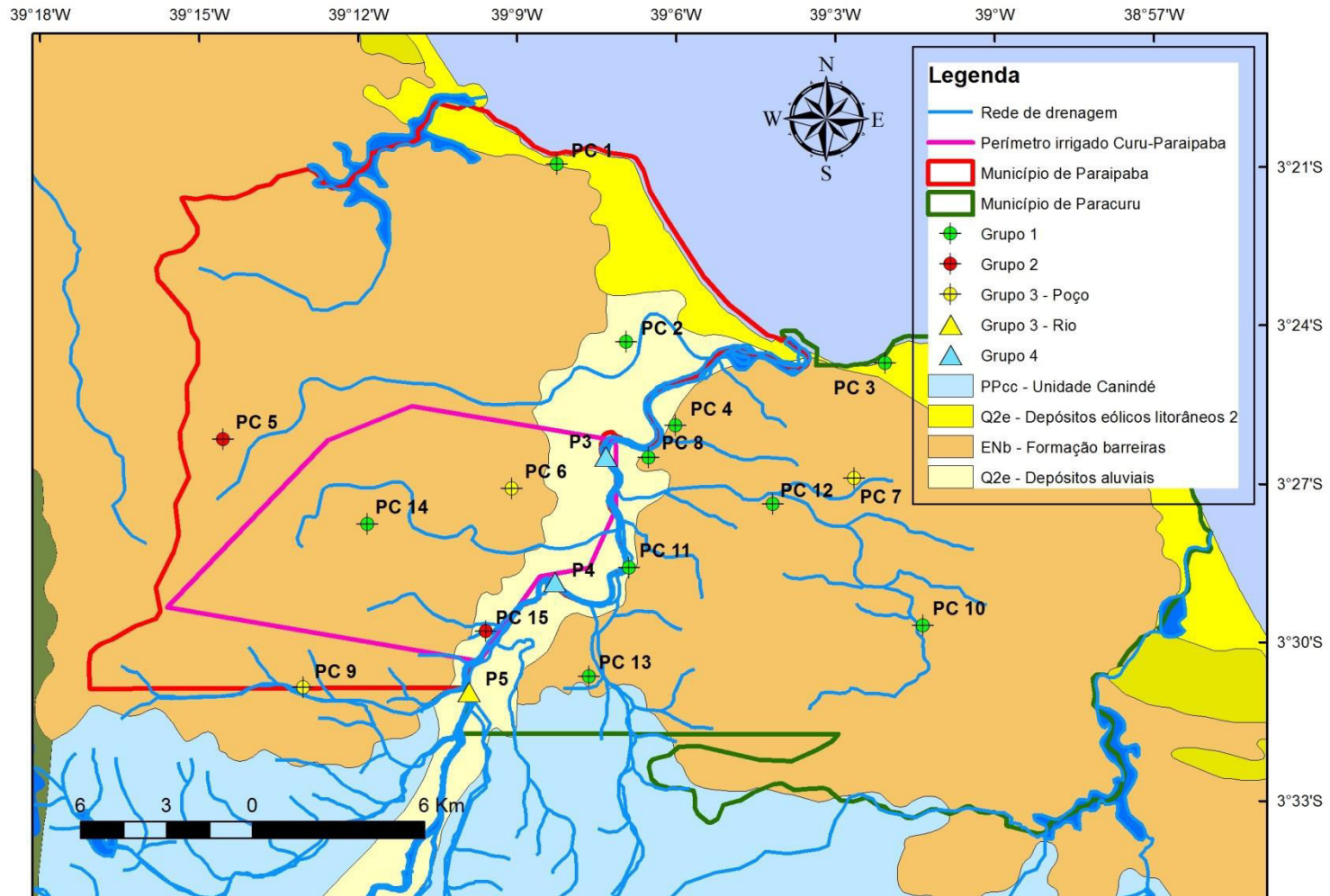
Nesse grupo estão presentes as amostras com menores valores de turbidez e de ferro. Mesmo possuindo os menores valores das 18 amostras a turbidez para todas desse grupo apresenta valores acima de 5 UNT que é o valor máximo permitido pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde. O grupo tem 50% de amostras com teores de Fe^{+3} abaixo do valor máximo permitido para o consumo humano, sendo o único grupo que apresentou dados em conformidade com o que estabelece o Ministério de Saúde.

O grupo 2 foi formado pelas amostras PC5 (36 m de profundidade) e PC15 (60 m de profundidade), que apresentaram valores tanto para turbidez, como para Fe^{+3} , acima do máximo permitido pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde. O Fe^{+3} foi o determinante para a formação desse Grupo, que contêm as maiores concentrações dentre as 18 amostras, com 4,0 e 3,9 mg/ L, para as amostras PC5 e PC15, respectivamente. A posição dos filtros do poço PC5 encontra-se nos intervalos de 12 a 16 m e 28 a 32 m, enquanto a do poço PC15 não se tem informação.

O grupo 3 é formado por três amostras de água subterrânea (PC6 com profundidade de 48 m, PC7, com 72 m e PC9, com 60 m) e uma de água superficial (P5), com valores de turbidez e concentrações de Fe^{3+} intermediários, quando comparado com os demais. As águas dos poços desse grupo são captadas no Aquífero Barreiras, com filtros posicionados de 12 a 18 m no poço PC6, de 24 a 28 m, no PC7 e de 40 a 44 m, no PC9.

O grupo 4 foi formado pelas amostras P3 e P4 que são de águas superficiais. O agrupamento dessas duas amostras teve como determinante a turbidez, já que estas apresentaram os maiores valores desse atributo, de respectivamente 84 UNT e 62 UNT, bem acima do valor máximo permitido (≤ 5 UNT) pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde. Os valores de Fe^{3+} dessas duas amostras também ficaram acima do máximo permitido para o consumo humano.

Figura 51 – Distribuição espacial dos grupos gerados a partir dos atributos que formam o Fator 2 da análise fatorial



Fonte: Elaborado pelo autor.

6. CONCLUSÕES

Todas as amostras apresentaram ao menos uma restrição quanto aos padrões de potabilidade estabelecidos pela portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

Para fins de irrigação as águas possuem boa qualidade, principalmente para utilização no cultivo do coco, que é predominante nas áreas irrigadas da área de estudo.

A constatação de águas cloretadas sódicas predominantemente em toda área de estudo é devido à localização em zona costeira, que sofre a influência de aerossóis marinhos.

Constataram-se níveis elevados de salinidade e de nitrato nas águas explotadas de um poço perfurado em uma comunidade, indicando águas impróprias para consumo humano.

O emprego da Análise da Componente Principal possibilitou agrupar vinte atributos físico-químicos em dois componentes ou fatores, explicando 87,31% da variância total.

Os parâmetros agrupados no Fator 1 estão principalmente, relacionados com o processo natural de intemperismo dos componentes geológicos do solo e com a presença de aerossóis marinhos nas águas de recarga do aquífero.

Já os parâmetros agrupados no Fator 2 estão relacionados ao processo de dissolução de rochas com elevadas concentrações de ferro provenientes do aquífero Barreiras.

A análise de agrupamento apresentou similaridade das amostras de água em relação à distribuição espacial e à origem das águas (superficial ou subterrânea).

Apesar da intensa atividade agrícola na região, tendo o coco como principal cultivo, não foi encontrado indícios de contaminação advindos desta ação, muitas vezes ocasionada pela aplicação de agroquímicos como uréia, nitrato de potássio, cloreto de potássio e superfosfato.

REFERÊNCIAS

ADECE. **Perímetros públicos irrigados do Ceará**, (2011)

ALMEIDA, O. Á. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas, Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.

ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil** / Agência Nacional de Águas, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. - Brasília : ANA, SPR, 2005.

ANA. **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil, e, Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. / coordenação geral, João Gilberto Lotufo Conejo ; coordenação executiva, Marcelo Pires da Costa, José Luiz Gomes Zoby. Brasília : ANA, 2007. 124 p. : il. (Caderno de Recursos Hídricos, 5)

ANDRADE, E.M.; LOPES, F.B.; PALÁCIO, H.A.Q.; AQUINO, D. N.; ALEXANDRE, D.M.B. Land use and groundwater quality: The case of Baixo Acaraú Irrigated Perimeter, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, 2010 v. 41, n. 2, p. 208-215.

ANDRADE, E. M.; GIRÃO, E. G.; ROSA, M. F.; CHAVES, L. C. G.; MENDONÇA, M. A. B.; MEIRELES, A. C. M. **Avaliação da Qualidade das Águas no Açude Ayres de Souza pelo Emprego da Estatística Multivariada**. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre, p. 1-12, 2009.

ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; LUNA, N. R. S.; Lopes, F. B.; CRISÓSTOMO, L. A. Dinâmica do nível freático e da salinização das águas subterrâneas em áreas irrigadas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n.5, p. 621-630, 2016

ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; DISNEY, ALVES, W.; A. B. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 683, 2007.

ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; GOMES, R. B.; LOBATO, F. A. O. Fatores determinantes da qualidade das águas superficiais na bacia do Alto Acaraú, Ceará, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.6, p.1791-1797, 2007.

ANDRADE, E.M.; PALÁCIO, H.A.Q.; CRISÓSTOMO, L.A.; SOUZA, I.H.; TEIXEIRA, A.S. Índice de qualidade de água, uma proposta para o vale do rio Trussu, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.36, n.2, p.135-42, 2005.

APHA. **Standard Methods For the examination of water and wastewater**. 22 ed., AWWA – WPCP, 2012.

AQUINO, D.N. **Irrigação e sustentabilidade dos recursos solo e agua na area do distrito de irrigação Baixo Acaraú - DIBAU - Ceará**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará - UFC. Fortaleza, 2007

AQUINO, D. N. *et al.* Impacto do manejo da irrigação sobre os recursos solo e água. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 02, p. 225-232, 2008.

ARAÚJO, A. O.; MENDONÇA, L. A. R.; LIMA, M. G. de S.; FEITOSA, J. V.; SILVA, F. J., NESS, R. L. L.; FRISCHKORN, H.; SIMPLÍCIO, A. A. F.; KERNTOPF, M. R. Modificações nas propriedades dos solos de uma área de manejo florestal na Chapada do Araripe. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 37, p. 754-762, 2013.

ARRUDA, G. B.; CORREIA, K. V.; MENOR, E. A.; LINS, V. Contaminações em sulfato e cloretos em águas de superfície e subsuperfície na região de Araripina-PE. **Estudos Geológicos**, v. 22(2), 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011.** Estabelece normas e o padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano. Diário Oficial da União, Brasília, 14 dez. 2011. 34 p.

BRODNJAK-VONCINA, D. *et al.* Chemometrics characterisation of the quality of river water. **Analytica Chimica Acta**, v. 462, n. 01, p. 87-100, 2002.

BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R. Polos de Irrigação no Nordeste do Brasil. **Confins**, 2015.

BUFON, A.G.M.; LANDIM, P.M.B. Análise da qualidade da água por metodologia estatística multivariada na represa velha (CEPTA/IBAMA/Pirassununga/SP). **Holos Environment**, v.7, n.1, p.42-59, 2007.

CALLEGARI-JACQUES, S.M. **Bioestatística: Princípios e aplicações.** Porto Alegre, Artemed, 255 p., 2003.

CAVALCANTE, I. N.; COSTA, N. B.; GOMES, M. C. R.; MAIA, J. T. V.; FREITAS, L. C. B.; LEMOS, E. C. L. **Aquífero costeiro na região de Paracuru – Ceará.** XV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e I Simpósio de Hidrogeologia do Sul-Sudeste, Gramado, Rio Grande do Sul, 2007

CAVALCANTE, L. V. Perímetro irrigado Curu-Paraipaba (CE): histórico produtivo e dinâmicas territoriais. **Revista da Casa da Geografia de Sobral.** Sobral/CE, v. 17, n. 3, p. 79-95, Dez. 2015, <http://uvanet.br/rcgs>. ISSN 2316-8056

CGEE. **A Questão da Água no Nordeste.** Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Agência Nacional de Águas. Brasília, 2012.

COELHO NETO, A. S. **Trajetórias e direcionamentos da política de irrigação no Brasil: as especificidades da região Nordeste e do Vale do São Francisco.** In: Biblio3W, Barcelona, v. 15, n. 876, 2010.

COGERH. **Inventario ambiental: açude General Sampaio.** Fortaleza, 2011

CORRAR, L. J.; PAULO, E.; FILHO, J. M. D. **Análise Multivariada: para os Cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia.** São Paulo: Atlas, 2017. 541 p.

CPRM. **Mapa Geológico do estado do Ceara**. 2003.

CPRM. **Sistema de informações de águas subterrâneas**. Disponível em: <<http://www.siagasweb.cprm.gov.br>>. Acesso em: 20 out. 2016.

DNOCS. Disponível em: <<http://www.dnocs.gov.br>>. Acesso em: 20 fev. 2017

FÁVERO, L.P.; BELFIORE, P.; SILVA, F.L da.; CHAN, B.L. Análise de dados. modelagem multivariada para tomada de decisões. Rio de Janeiro: **Elsevier**, 2009.

ELMI, A.A. *et al.* Water and fertilizer nitrogen management to minimize nitrate pollution from a cropped soil in southwestern Quebec, Canada. **Water, Air, and Soil Pollution**, v.151, p.117-134, 2004.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2. ed. – Rio de Janeiro, 2006.

EMBRAPA. **Argissolo vermelho-amarelo**. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore>. Acesso em: 28 jul. 2017a.

EMBRAPA. **Neossolo Quartzarênico**. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore>. Acesso em: 28 jul. 2017b.

FARIA, F. H. S.; LIMA, L. A.; RIBEIRO, M. S.; SANTOS, S. R.; RIBEIRO, K. M. **Avaliação da qualidade das águas subterrâneas para irrigação em Jaíba e Janaúba: sodicidade e alcalinidade**. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008.

FEITOSA, F. A. C.; BRANDÃO, R. L.; BENVENUTI, S. M. P. Diagnóstico do município de Paracuru. **Programa de recenseamento de fontes de abastecimento por água subterrânea no estado do Ceará**. CPRM. Fortaleza, 1998. 15p.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Coord.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. CPRM, Rio de Janeiro, 812p, 2008

FERNANDES, F. B. P., ANDRADE, E. M., FONTENELE, S. B., MEIRELES, A. C. M., RIBEIRO, J. A. Análise de agrupamento como suporte à gestão qualitativa da água subterrânea no semiárido cearense. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 4, n. 2, p. 86-95, 2010 ISSN 1982-8470

FERNANDES, M. A. B.; SANTIAGO, M. M. F.; FILHO, J. M.; SILVA, C. M. S. V.; FRISCHKORN, H.; LIMA, J. O. G. **Análise estatística aplicada em amostras de água subterrânea no município de Caucaia**. XIV congresso brasileiro de águas subterrâneas, 2006.

FERNANDES, M. A. B.; SANTIAGO, M. M. F.; GOMES, D. F.; FILHO, J. M.; FRISCHKORN, H.; LIMA, J. O. G. A origem dos cloretos nas águas subterrâneas na chapada do Apodi – Ceará. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 19, n. 1, p. 25-34, 2005

- FERREIRA, M. M. C.; ANTUNES, A. M.; MELGO, M.S., VOLPE, P.L..O. **Quimiometria I; calibração multivariada, um tutorial**. Química Nova. 22(5): 724-731, 1999.
- FRANCO, R.A.M.; HERNANDEZ, F.B.T.; BARBOZA, G.C.; VANZELA, L.S. **Diagnóstico da concentração de ferro nas águas superficiais e seus impactos para a irrigação localizada na região noroeste paulista**. CONIRD - Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, XX. Uberaba - MG, 2010.
- GADELHA, C.L.M.; FILGUEIRA, H. J. A.; CAMPOS, L. F.; QUININO, U. C. M. **O Uso de agrotóxicos nas áreas irrigadas da bacia do rio Gramame no estado da Paraíba**. In: GADELHA, C.L.M.; SILVA, T.C. da; SILANS, A.M.B.P. de. (Org.). Bacia do rio Gramame: hidrologia e aspectos ambientais para gestão dos recursos hídricos. João Pessoa: Editora Universitária - UFPB, 2002, v. 1, p. 61-68.
- GARCIA, G. O.; MARTINS FILHO, S.; REIS, E. F.; MORAES, W. B.; NAZÁRIO, A. A. Alterações químicas de dois solos irrigados com água salina. **Revista Ciência Agronômica**, v.39, p.7-18, 2008.
- GASPAR, S.M.F.S.; NUNES, G.S.; PINHEIRO, C.U.B.; AMARANTE JUNIOR, O.P. Avaliação de risco de pesticidas aplicadas no município de Arari, Maranhão, Brasil: base para programa de controle ambiental do Rio Mearim. **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, n. 15, p. 43-54, 2005.
- GEO BRASIL. **Recursos hídricos: componente da serie de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil**. Brasília, DF: Agência Nacional de Aguas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2007. 264 p. (GEO brasil serie temática)
- GOMES, M. C. R. **Análise situacional qualitativa sobre as águas subterrâneas de Fortaleza, Ceará** – Brasil como subsídio à gestão dos recursos hídricos. Tese (doutorado) – UFC. Fortaleza, 2013.
- GOMES, M. C. R.; CAVALCANTE, I. N. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água subterrânea. **Revista Águas Subterrâneas**. 31(1):134-149, 2017.
- GOMES, M. C. R.; MENDONÇA, L. A. R.; LIMA, M. G. S.; ARAÚJO, A. O. Similaridade de atributos físico-químicos com uso de análise multivariada aplicada à gestão qualitativa de águas subterrâneas. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 36, n. 2, p. 325 – 337, 2017
- GORAYEB, A; SOUZA, M. J. N.; FIGUEIRÊDO, M. C. B.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; SILVA, E. V. Aspectos geoambientais, condições de uso e ocupação do solo e níveis de desmatamento da bacia hidrográfica do rio Curu, Ceará – Brasil. **Geografia** – Londrina. v. 14, n. 2, jul./dez. 2005.

HAIR Jr, J. F. ; BLACK, W.C; BABIN, B.J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. Trad. SANT'ANNA, A.S. - 6. Ed. - Porto Alegre: Bookman, 2009. 688p

HELENA, B.; PARDO, R.; VEGA, M. BARRADO, E. FERNANDEZ, J. M.; FERNANDEZ, L. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal component analysis. **Water Research**, v.34, n.3, p.807-816, 2000.

HERMES, L.C.; SILVA, A.S. **Parâmetros básicos para avaliação da qualidade das águas: análise e seu significado ambiental**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2002. 32p.

HOUNSLOW, Arthur W. **Water Quality Data. Analysis and Interpretation**. Lewis Publishers, 396 p. 1995

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 04 fev 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de solos do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. Escala 1: 5.000.000

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa Hidrogeológico Região Nordeste**. 2013

INESP. Instituto de Estudos e Pesquisas para o desenvolvimento do estado do Ceara. **Caderno regional da bacia do Curu**. Fortaleza, 2009. 113p. : il. – (Coleção Cadernos Regionais do Pacto das Águas. v. 4).

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Base cartográfica**. Disponível em: <<http://www.ipece.ce.gov.br>> Acesso em: 25 out 2016.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Atlas**. Disponível em: <<http://www.ipece.ce.gov.br>> Acesso em: 25 out 2016.

IPECE. Perfil Básico Municipal: Paracuru. **Instituto de Pesquisa Estratégia Econômica do Ceará**. Fortaleza, Disponível em: <<http://www.ipece.ce.gov.br>> Acesso em: 05 fev 2017a.

IPECE. Perfil Básico Municipal: Paraipaba. **Instituto de Pesquisa Estratégia Econômica do Ceará**. Fortaleza, Disponível em: <<http://www.ipece.ce.gov.br>> Acesso em: 05 fev 2017b.

IPECE. Perfil Básico Municipal: Paracuru. **Instituto de Pesquisa Estratégia Econômica do Ceará**. Fortaleza, Disponível em: <<http://www.ipece.ce.gov.br>> Acesso em: 05 fev 2017

JESUS, D. B. M.; SOUZA, R. C. A. **Avaliação da qualidade da água do rio São Francisco na região de Bom Jesus da Lapa, BA, e as atividades antrópicas**

relacionadas. XII SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica, UNIFACS, 2013.

LEAL, A.S. As águas subterrâneas no Brasil. Ocorrências, disponibilidades e usos. O Estado das Águas no Brasil. Brasília: **ANEEL**, 1999.

LIMA, G. P. A **produção do território no perímetro irrigado Curu-Pentecoste**. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Geografia) – UECE. Fortaleza, 2005. 183 p.

LOPES, F.B. **Índice de sustentabilidade do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Ceará - UFC. Fortaleza, 2008.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada**. Trad. Laura Bocco. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

MANOEL FILHO, J. Contaminação das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 3.ed. Rio de Janeiro: CPRM/LABHID, 2008, Capítulo 5.3, p. 381-404.

MARINHO, F. J. L.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; HOLANDA, J. S.; NETO, M. F. Cultivo de coco 'Anão Verde' irrigado com águas salinas. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.41, n.8, p.1277-1284, ago. 2006

MARTINS, M. D. **Açúcar no Sertão: a ofensiva capitalista no Nordeste do Brasil**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 2008.

MEDEIROS, C. N.; Gomes, D. D. M.; Albuquerque, E. L. S.; Cruz, M. L. B. **Os Recursos Hídricos do Ceará: Integração, Gestão e Potencialidades**. Fortaleza: IPECE, 2011.

MEIRELES, A.C.M.; ANDRADE, E.M.; CHAVES, L.C.G.; FRISCHKORN, H.; CRISOSTOMO, L.A. A new proposal of the classification of irrigation water. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.3, p.349-357, 2010.

MESTRINHO, S. S. P. Monitoramento em água subterrânea. In: FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. CPRM/LABHID, Rio de Janeiro, 2008. p. 673-686.

MILHOME, M.A.L. ; SOUSA, D.O.B. ; LIMA, F.A.F. ; NASCIMENTO, R.F. Avaliação do potencial de contaminação de águas superficiais e subterrâneas por pesticidas aplicados na agricultura do Baixo Jaguaribe, CE. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, p. 363-372, 2009.

MOBUS, G. **Qualigraf**: software para interpretação de análises físico-químicas, versão Beta. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME. Fortaleza. Disponível em: <http://www.funceme>.

MORAIS, E. R. C.; MAIA, C. E.; OLIVEIRA, M. Qualidade da água para irrigação em amostras analíticas do banco de dados do departamento de solos e geologia da Escola

Superior de Agricultura de Mossoró, Mossoró-RN. **Revista Caatinga**, Mossoró-RN, 11(1/2):75-83, 1998

MUNIZ, D.H.F.; OLIVEIRA-FILHO, E.C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitas: Ciências da Saúde**, v. 4, p. 83-100, 2006.

NASCIMENTO, N. V.; LEITE, K. N.; MONTEIRO, R. N. F.; SANTOS, F. R. M.; FREIRE, E. A.; SOUSA, A. E. C. **Impacto da qualidade da água na cultura do coco (*Cocos nucifera* L.) irrigado**. II Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação e I Simposio Brasileiro sobre o uso Múltiplo da Água, Fortaleza/CE, 2008

OLIVEIRA, A.C.B. **Avaliação da qualidade das águas do açude Santo Anastácio**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará – (UFC). Fortaleza, 2013

PALÁCIO, H.A. de Q. **Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu, Ceará**. 2004. 96f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

PALÁCIO, H. A. Q.; ANDRADE, E. M.; LOPES, F. B.; ALEXANDRE, D. M. B. ARRAES, F. D. D. Similaridade da qualidade das águas superficiais da bacia do Curu, Ceará. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.39, n.9, p.2494-2500, 2009. ISSN 0103-8478

PARRON, L.M.; MUNIZ, D.H.F.; PEREIRA, C.M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Documentos/Embrapa Florestas. Colombo, 2011

PEIXOTO, F. S. **Análise da relação espaço-temporal do uso e ocupação do solo com a qualidade da água na bacia do Açude Acarape do Meio**. Dissertação de Mestrado-UFC. Fortaleza, 2014.

PEREIRA, J. C. R. **Análise de dados qualitativos: estratégias metodológicas para as ciências da saúde, humanas e sociais**. 3ed. São Paulo: EDUSP, 2004.

PEREIRA, L.; SANTIAGO, M. M. F.; MENDONÇA, L. A. R.; FRISCHKORN, H.; LIMA, J. O. G.; MENDES FILHO, J. Medidas hidroquímicas e isotópicas em águas subterrâneas que abastecem o município de São Luís – Maranhão. **Revista Águas Subterrâneas** - no 18/ Janeiro, 2004

PEREIRA, S.; CAVALCANTE, I. N.; GOMES, D. F.; GOMES, M. C. R.; MOURA, I. B. M. **A qualidade das águas subterrâneas na porção oeste da faixa costeira do município de Fortaleza, Ceará**. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008.

PINA, A. P. S. A. de. **Fundamentos hidrogeoquímicos aplicados na Bacia Hidrográfica de Santa Cruz, Ilha de Santiago – Cabo Verde, como instrumento para a gestão de recursos hídricos, 2012**. 150 p. Dissertação (Mestrado em Geologia).

PORTO, M. F. A. **Sistemas de gestão da qualidade das águas: uma proposta para o caso brasileiro**. Tese de Livre – Docência – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2002.

REBOUÇAS, Aldo da Cunha. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, Aldo da Cunha; BRAGA, Benedito; TUNDISI, José Galizia (Org.). **Água doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 2006. p. 1-38.

RODRIGUES, N.R. Agrotóxicos: análises de resíduos e monitoramento; construindo a história dos produtos naturais. **Multiciência**, n. 7, p. 1-7, 2006

SANCHES, S. M. *et al.* Pesticidas e seus respectivos riscos associados à contaminação da água. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v.3, p.53-58, jan.-dez. 2003.

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; SOUZA, K. J.; SOUSA, A. M. G.; VASCONCELOS, C. L.; ANDRADE, L. A. B. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) e em solos com diferentes níveis texturais. **Revista Ciência Agrotécnica**, v.31, p.1470-1476, 2007.

SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Org.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 3. ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM e LABHID, 2008. cap. 05. p. 325-357.

SCHEEREN, L. W.; GEHRARDT, E. J.; FINGER, C. A. G.; LONGHI, S. J.; SCHNEIDER, P. R. Agrupamento de unidades amostrais de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em função de variáveis do solo, da serapilheira e das acículas, na região de Canela, RS. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 2. Santa Maria, 2000

SILVA, M. L.; BONOTTO, D. M. Hidroquímica elementar e dos isótopos de urânio em águas subterrâneas da formação Alter do Chão, Manaus (AM). In.: **Revista Brasileira de Geociências**. Set. 2006.

SOHIDRA, **Atlas**, 2017. Disponível em: <<http://atlas.srh.ce.gov.br>>. Acesso em: 27 nov. 2016.

SOUZA, M. J. N.; ROSA, M. F.; FIGUEIREDO, M. C. B.; NASCIMENTO, F. R.; ARAUJO, L. F. P.; SANTOS, J. O.; COREIA, L. J. A. **Contexto geoambiental das bacias hidrográficas dos Rios Acarau, Curu e Baixo Jaguaribe - Estado do Ceará**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2005. 52p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 101).

VARNIER, C.; HIRATA, R. Contaminação da água subterrânea por nitrato no parque ecológico do Tietê – São Paulo, Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 16, p. 97-104, 2002.

VANLOON, G.W.; DUFFY, S.J. Environmental chemistry: a global perspective. **Oxford University Press**. New York, 2000. 492 p.

VASCONCELOS, T. S. L.; LIMA, L. C. Perímetro irrigado Curu-Paraipaba: colonos, normatizações e tensionalidades. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral/CE, v. 17, n. 3, p. 21-38, Dez. 2015.

VICINI, L.; SOUZA, A. M. **Análise Multivariada da Teoria à Prática**. Monografia (especialização). Universidade Federal de Santa Maria- UFSM, 2005.

VIEIRA, A. T.; FEITOSA, F. A. C.; BENVENUTI, S. M. P. Diagnóstico do município de Paraipaba. **Programa de recenseamento de fontes de abastecimento por água subterrânea no estado do Ceará**. CPRM. Fortaleza, 1998. 14p.